Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РиТК
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Б. Масальский
подпись
«_____»_____2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.06. Мехатроника и робототехника

Система управления климатом здания

Руководитель _____ _____ Г.Б. Масальский
подпись, дата должность, ученая степень

Студент _____ Д.С. Гендик
подпись, дата

Нормоконтролер _____ В.Н. Куликова
подпись, дата

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РиТК
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Б. Масальский
подпись
«_____»_____2018 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Гендик Дмитрию Сергеевичу

Группа ФЭ14-08Б Направление (специальность) 15.03.06 (Мехатроника и робототехника)

Тема выпускной квалификационной работы: Система управления климатом здания

Утверждена приказом по университету № 2264/С от 14.02.18

Руководитель ВКР: Г.Б. Масальский, зав.кафедрой, профессор, канд. техн. наук., каф. РиТК
Исходные данные для ВКР:

Перечень разделов ВКР:
Глава 1. Описание ОУ.
Глава 2. Разработка математической модели.
Глава 3. Разработка адаптивной системы управления.
Глава 4. Разработка системы управления.
Глава 5. Безопасность и экологичность проекта.
Глава 6. Экономическое обоснование проекта.

Перечень графического материала:
Лист 1. Функциональная схема приточно-вытяжной установки.
Лист 2. Принципиальная схема (подключение датчиков температуры).
Лист 3. Принципиальная схема (подключение датчиков температуры).
Лист 4. Принципиальная схема (подключение датчиков влажности).

Руководитель ВКР _____ Масальский Г.Б.

Задание принял к исполнению _____ Гендик Д.С.

«_____»_____2018 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Система управления климатом здания» содержит 57 страницы текстового документа, 2 приложения, 11 использованных источников, 4 листа графического материала.

СИСТЕМА КЛИМАТ КОНТРОЛЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫХ УСТАНОВОК, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, НЕЙРОСЕТЕВОЙ РЕГУЛЯТОР, АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА.

Задачи проекта:

- проанализировать существующие системы управления климатом;
- разработать математическую модель СКК в системе Mathworks Matlab Simulink;
- разработать адаптивную систему управления;
- подобрать оборудование для СКК;
- внести изменения в принципиальную схему;

Актуальность данной работы заключается в необходимости обеспечения подходящих микроклиматических условий в местах массового скопления людей.

Для проектирования системы управления климатом было использовано следующее программное обеспечение: Autodesk AutoCAD, Mathworks Matlab (пакет Simulink, PDE), PTC Mathcad.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Все больше времени люди проводят в торгово-развлекательных центрах, кинотеатрах, концертных залах. К таким местам массового скопления людей предъявляются особые требования в плане безопасности, экологичности и комфорта. Если два первых требования во многом решаются конструктивными особенностями здания, то третий пункт в основном зависит от множества факторов, в том числе и от микроклимата. Особенность поддержания комфортного микроклимата заключается в его «многогранности» т.е. результирующее ощущение комфорта складывается из множества параметров, таких как температура, влажность, скорость перемещения воздуха и т.д. И из этого следует, что необходимо контролировать каждый из этих параметров для достижения комфортного микроклимата внутри помещения, но основная сложность в управлении такими системами состоит в том, что параметры микроклимата взаимосвязаны и взаимозависимы. А от системы управления микроклиматом зависит и эффективность здания с точки зрения энергопотребления. И оптимально настроенная система не только обеспечит необходимые параметры воздуха внутри помещения, но позволит рационально использовать потребляемую энергию, применяя при этом все достижения в сфере энергосбережения.

В данном дипломном проекте рассмотрена методика настройки системы управления приточно-вытяжной системы вентиляции для достижения более высокой точности регулирования при экономии энергетических ресурсов.

1 Описание объекта управления

1.1 Математическое описание тепловых процессов

Технический прогресс приводит к появлению большого многообразия архитектурных, объемно-планировочных и конструктивных решений зданий с существенно отличающимися особенностями формирования теплового режима в помещениях, обусловленными их технологическим назначением и применяемыми системами регулирования микроклимата, но при всем многообразии все же можно выделить основные типовые элементы, из которых складывается здание как единая теплоэнергетическая система. Декомпозиция здания как единой энергетической системы может быть представлена тремя основными энергетически взаимосвязанными подсистемами [7]:

- энергетическим воздействием наружного климата на оболочку здания;
- энергией, содержащейся в наружных ограждающих конструкциях здания;
- энергией, содержащейся внутри объема здания, то есть во внутреннем воздухе, оборудовании, внутренних ограждающих конструкциях;

При необходимости каждая из указанных подсистем может быть представлена еще более мелкими энергетически взаимосвязанными системами. Основываясь на разделении здания на три основные подсистемы, можно сделать вывод: математическая модель здания будет состоять из трех подмоделей:

- модели наружного климата;
- модели теплопередачи через оболочку здания;
- модели лучистого и конвективного теплообмена в помещениях здания.

Эти модели составят систему уравнений - общую теплоэнергетическую модель здания, которая должна будет решаться совместно.

В соответствии с природой изучаемого процесса формирования теплового режима помещения и здания будем различать вероятностные и детерминированные математические модели, описывающие этот процесс. Модели теплового режима помещения:

- математические модели теплового режима помещения как объекта распределенными параметрами, сюда относятся математические модели которые описывают температурное поле в плане и по высоте помещения и раздельно учитывают лучистый и конвективный теплообмен в помещении;

- математические модели теплового режима помещения как объекта с частично распределенными параметрами, сюда относятся модели, которые раздельно учитывают лучистый и конвективный теплообмен в помещении, а температура воздуха принимается одинаковой по всему объему помещения;

- математические модели теплового режима помещения как объекта с сосредоточенными параметрами, сюда относятся модели, которые описывают теплообмен в помещении без разделения на конвективную и лучистую составляющие, а температура воздуха принимается одинаковой по объему помещения.

Модель лучистого излучения и конвективного теплообмена в помещении здания включают систему водяного (на базе руфтопов) отопления обеспечивающий основной обогрев помещения и приточно-вытяжную систему, подающую теплый воздух. Система водяного отопления работает с заданным графиком и температурным режимом в автоматическом режиме.

Упрощения, принимаемые при построении математической модели теплопередачи через ограждающие конструкции. В общем случае ограждающие конструкции являются неоднородными и могут содержать вентилируемые или замкнутые воздушные прослойки, а также источники тепла. При определении математической модели теплопередачи через ограждающую конструкцию принято:

- теплотехнические характеристики материалов слоев не зависят от влажности и температуры материала;

- влияние откосов оконного проема, стыков, наружных углов, теплопроводных включений на деформацию температурного поля ограждения корректируется с помощью введения эквивалентных теплотехнических

показателей, так что температурное поле конструкции можно считать одномерным;

- теплопередача через конструкцию происходит за счет теплопроводности и фильтрации воздуха;

- имеют место потери (выделения) тепла, связанные с замерзанием (таянием влаги в материале.

Математическая модель теплопередачи через заполнение светового проема состоит из обобщенного описания следующих тепловых потоков:

- теплопоступления в результате солнечной радиации, поглощаемой заполнением и непосредственно проникающей в помещение;

- теплопоступления или теплопотери вследствие разности температур внутреннего и наружного воздуха;

- теплопоступления или теплопотери вследствие фильтрации воздуха через притворы и по контуру примыкания заполнения к стене, обусловленные разницей давления и температуры внутри и снаружи здания.

В тепловом балансе помещения необходимо учитывать внутреннее оборудование. К внутреннему оборудованию будут относиться станки, машины, различное технологическое оборудование, а также строительные конструкции типа колонн и частей фермы, омываемых внутренним воздухом. По своему влиянию на формирование теплового режима здания оборудование может быть разделено на две группы: активное и пассивное. К первой группе относится оборудование, выделяющее потоки тепла. Ко второй группе относится оборудование, потребляющее и аккумулирующее в себе тепло из окружающего воздуха помещения, это мебель, колонны, товары, торговое оборудование.

Математические модели теплового режима помещения, основанные на декомпозиции здания как единой теплоэнергетической системы на три энергетически взаимосвязанных подсистемы - это энергия климата, энергия, содержащаяся в оболочке здания, энергия воздуха помещений:

- как объекта с распределенными параметрами;

$$
\begin{cases}
\frac{\partial}{\partial t}(pV_i) = -\frac{\partial \Pi_{i,j}}{\partial x_k} \\
\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{V}\nabla T = div\lambda\nabla T\frac{1}{cp} \\
\frac{\partial p}{\partial t} + div\bar{V} = 0 \\
\left\{\frac{\partial H}{\partial t} = div\lambda\nabla T \pm C_R j_F \frac{\partial T}{\partial y} + Q_{sou}\right\}_i^* \\
y = 0 \quad \left\{q_{cond} = q_c^{out.SF} + q_R^{out.SF} + q_{sun}^{out.SF} + q_{Ph}^{out.SF}\right\}_i^* \\
y = 0 \quad \left\{q_{cond} = q_c^{out.SF} + q_R^{out.SF} + q_{sun}^{out.SF} + q_{Ph}^{out.SF}\right\}_i^* \\
C_{EQ}p_{EQ}\frac{\partial T_{EQ}}{\partial T} = div\lambda_{EQ}\nabla T_{EQ} + Q_{EQ}(x,y,z) \\
t = 0 \ \{T = T(x,y,z);\ T_i = T_i(x,y,z); T = T(x,y,z);\ V_{\tilde{A}} = 0\}
\end{cases}, \qquad (1.1)
$$

где T = *T(x,y,z9t)* - температура воздуха, °С;

V = V(x,y,z,i) - скорость движения воздуха, м/с;

p - плотность воздуха, в кг/м^3;

λ - теплопроводность воздуха;

$\Pi_{i,j}$ тензор плотности потока импульса;

Q_{sou} удельная мощность источников тепла в ограждении;

C_R— соответственно удельная теплоемкость воздуха в Дж/(кг °С);

C_R,p_R V_R- соответственно удельная теплоемкость в Дж/(кг °С), плотность в кг/м^{3}и объем помещения в м^3;

Значок (*), фигурные скобки и индекс (i) означают, что уравнение относится к i-тому ограждению;

- как объекта с частично распределенными параметрами в общем виде;

$$
\begin{cases}
C_R\, p_R\, V_R\frac{dT_R}{d} = \sum_i Q_i + \sum_j Q_j \\
\sum_i M_i + \sum_j M_j = 0 \\
\left\{\frac{\partial H}{\partial t} = div\lambda\nabla T \pm C_R j_F \frac{\partial T}{\partial y} + Q_{sou}\right\}_i^* \\
y = 0 \quad \left\{q_{cond} = q_c^{out.SF} + q_R^{out.SF} + q_{sun}^{out.SF} + q_{Ph}^{out.SF}\right\}_i^*, \\
y = 0 \quad \left\{q_{cond} = q_c^{out.SF} + q_R^{out.SF} + q_{sun}^{out.SF} + q_{Ph}^{out.SF}\right\}_i^* \\
C_{EQ}p_{EQ}\frac{\partial T_{EQ}}{\partial T} = div\lambda_{EQ}\nabla T_{EQ} + Q_{EQ} \\
t = 0 \ \left\{T_R = T_R(0)\ T_i = T_i(x,y,z); T_{EQ} = T_{EQ}(x,y,z)\right\}
\end{cases} \qquad (1.2)
$$

где C_R,p_R,V_R - соответственно удельная теплоемкость в Дж/(кг °С), плотность в кг/м^3 и объем помещения в м^3;

T_R - средняя по объему помещения температура внутреннего воздуха, °С;

Q_t - конвективное тепло, передаваемое воздуху от поверхностей ограждений и оборудования, Вт;

Q_j - конвективное тепло, непосредственно передаваемое воздуху помещения, Вт;

M_i - потоки воздуха через ограждающие конструкции, кг/ч;

M_j - потоки воздуха, непосредственно передаваемые или удаляемые из помещения, кг/ч.

Данные модели определяют общий вид системы уравнений для моделирования теплового состояния помещения. Для каждого конкретного примера систему уравнений потребует изменений, введения определенных ограничений. Предложенные модели требуют значительные затраты машинного времени и для задач управления в режиме реального времени мало пригодного.

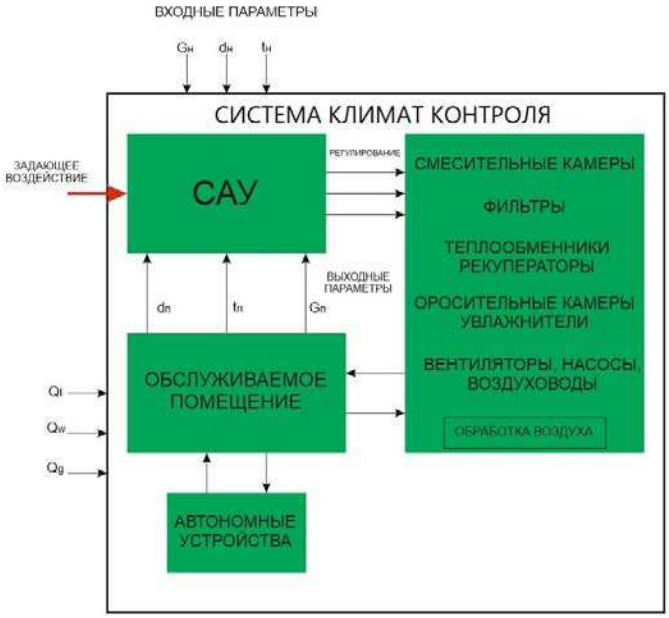
Математическая модель теплового режима помещения представляет собой элемент системы более высокого порядка – теплового режима здания. Связями между этими элементами является теплообмен между помещениями, происходящий, главным образом, за счет воздухообмена и теплопередачи через внутренние ограждения.

Обобщённая структурная схема объекта автоматизации показана на рисунке 1.1. Входными параметрами являются наружный воздух, тепло-, влаго-, и хладаносители, электроэнергия, а также часть рециркуляционного воздуха, возвращаемого в помещение. Выходными параметрами являются температура в помещении $t_{пом}$, влагосодержание $d_{пом}$ и расход воздуха $G_{пом}$. Система кондиционирования включает следующие основные элементы:

- регуляторы расхода воздуха(заслонки, шиберы, жалюзи);
- камеры смешения (смешения различных потоков воздуха);
- фильтры (механическая и биологическая очистка воздуха);

- теплообменники (теплообмен различных сред: воздух-воздух, хладагент-воздух, жидкость-воздух и др.);
- вентиляционные сети (распределение и транспортировка воздуха).

Каждая конкретная система комплектуется, исходя из заданной технологии обработки приточного воздуха. Это могут быть простые вентиляционные системы или центральные кондиционеры в сочетании с автономными устройствами (калориферы, осушители, автономные кондиционеры и др.), называемые доводчиками. Они доводят воздух, идущий от центрального кондиционера, до параметров, требуемых по нормам конкретного помещения.



- t_H, d_H, G_H –температура, влажность, расход наружного воздуха;
- $t_{пом}$, $d_{пом}$, $G_{пом}$ – температура, влажность, расход воздуха в помещении;
- Q_t, Q_w, Q_g –тепловое, влажностное и газовое воздействия.

Рисунок 1.1 – Обобщенная структурная схема СКК как объекта автоматизации.

1.2 Торговый зал как объект управления

На рисунке 1.2 приведен план помещения, площадь данного помещения равна 8304 м^2, а высота 10м.

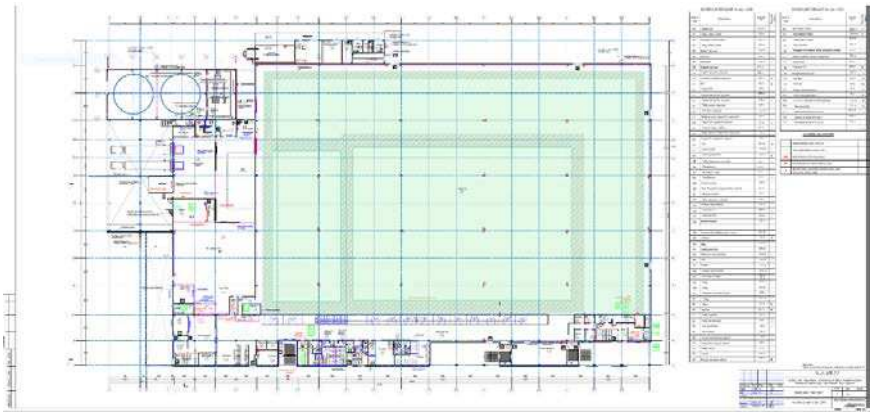


Рисунок 1.2 – План здания и используемое помещение

В качестве строительного материала для стен были использованы бетонные плиты толщиной $\delta = 0.6$ м и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 1.75$ ккал/м час°С. Внутри помещения стены отделаны штукатуркой слоем $\delta = 0.01$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0.6$ ккал/м час°С.

Не смотря на высокие стеллажи за счет распределения вентиляционных выходов на зоны (рисунок 1.3) помещение можно считать единым целым, тепловой поток будет распределяться равномерно . Нагревом стен со стороны офисных помещений можно пренебречь. Так же можно пренебречь входными, выходными дверями и воротами для погрузки крупногабаритных изделий, так как там установлены тепловые завесы, и они предотвращают крупные тепло потери. Необходимо отметить тот факт, что в торговом помещении отсутствуют отопительные радиаторы, так как мощности калорифера и вентилятора достаточно для обогрева данного помещения.

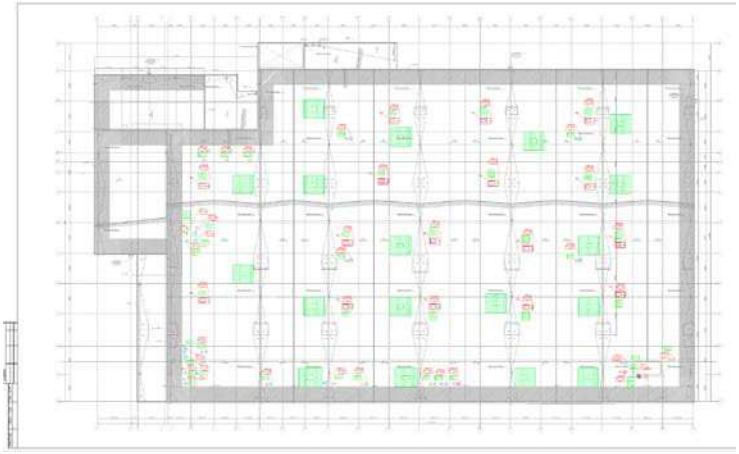


Рисунок 1.3 – План здания и схема вентиляции

Согласно нормам производственного микроклимата (ГОСТ 12.1.005-88) воздух в рабочем помещении должен соответствовать следующим требованиям, приведенным в таблице 1.1. [1].

Таблица 1.1 - Требования к воздуху в рабочем помещении

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Температура воздуха в помещении Относительная влажность Скорость движения воздуха	22…24°С 40…60% до 0,1м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении Относительная влажность Скорость движения воздуха	23…25°С 40…60% 0,1…0,2м/с

Технические характеристики оборудования.

Приточная часть:

- водяной нагреватель;

VS 100 WCL 1

Потребляемая мощность 49 кВт;

Падение давления 20 Па.

- Вентиляторная секция;

VS 100/150 DRCT.DR.FAN 1V.2

Обороты 1614 об/мин;

Номинальное напряжение 3~400 В;

Номинальный ток 8.5 А;

Номинальная мощность 4 кВт;

Потребление электрической мощности 4.03 кВт.

- Нагреватель;

RB 100-50/80-5

Номинальное напряжение 400 В;

Номинальный ток 116 А;

Номинальная мощность 80 кВт.

Вытяжная часть:

- вентиляторная секция;

VS 100/150 DRCT.DR.FAN 1V.2

Обороты 1434 об/мин;

Номинальное напряжение 3~400 В;

Номинальный ток 8.5 А;

Номинальная мощность 4 кВт;

Потребление электрической мощности 2.81 кВт.

Приборы и средства автоматизации:

- прессостат KPI 35;
- датчик температуры канальный Pt1000;
- датчик температуры накладной Pt1000;
- частотный преобразователь 4 кВт;
- частотный преобразователь 0.4 кВт;
- датчик дифференциального давления 50-500 Па;
- датчик дифференциального давления 200-2000 Па;
- термостат водяного калорифера.

1.3 Динамика нагрева помещения

Основные уравнения необходимые для построения структурной схемы [2]

$$\frac{Q}{k_{ok}*F_{ok}} = T_{\text{ПМ}}\frac{dt}{d\tau} + t_B, \quad (1.3)$$

где $T_{\text{ПМ}} = \frac{G_{\text{ПМ}}*c_{\text{ПМ}}}{k_{ok}*F_{ok}}$;

Q – теплопотери через ограждение ккал/час;

k_{ok} – коэффициент теплопередачи ограждения ккал/м^2 час град;

F_{ok} – площадь ограждающей конструкции м^2;

$T_{пм}$ – постоянная времени обогреваемого помещения час;

t – температура в помещении °С;

τ – время;

$G_{пм}$ – масса помещения кг;

$c_{пм}$ – удельная теплоемкость кДж/кг°С.

В соответствии с уравнением (1.3) запишем :

$$W(p) = \frac{\text{К}_{\text{ПМ}}}{\text{Т}_{\text{ПМ}}p+1}, \quad (1.4)$$

где $K_{\text{пм}} = \frac{Q}{k_{ok}*F_{ok}}$.

Пусть температура наружного воздуха $t_н$ = -10. Рассчитаем параметры обогреваемого помещения. Объем помещения составляет:

$$\mathbf{V}\text{пм} = 8304 * 10 = 83040 \text{ м}^3, \quad (1.5)$$

Масса помещения:

$$\mathbf{G}\text{пм} = \text{Vпм} * \rho\text{в} = 83040 * 1{,}29 = 107121{,}8 \text{ кг}, \quad (1.6)$$

($\rho_в$ = 1,29 кг/м^3 – плотность воздуха). Площадь ограждающей конструкции без учета потолка:

$$\mathbf{F}\text{ок} = (100 * 2 * 10) + (83{,}04 * 2 * 10) = 3660{,}8\ \text{м}^2, \quad (1.7)$$

Величина сопротивления теплопередаче для многослойного ограждения где $R_в$ - сопротивление теплопереходу у внутренней поверхности ограждения ($R_В$=0.133); R_1,R_2 - термические сопротивления отдельных слоев ограждения; $R_н$ - сопротивление теплопереходу у наружной поверхности ограждения ($R_Н$=0.05). Термическое сопротивление однородного ограждения или слоя, входящего в состав многослойного ограждения, должно вычисляться по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}\left(\text{м}^2\ \text{час}\ \frac{°\text{C}}{\text{ккал}}\right), \quad (1.8)$$

где δ - толщина слоя в м (δ_1=0.01, δ_2=0.6); λ – коэффициент теплопроводности материала в ккал/м час°С (λ_1=0.6 для штукатурки, λ_1=1.75 для бетонной плиты):

$$R_{ok} = R_\text{В} + R_1 + R_2 + R_\text{н} = 0.133 + \frac{0.01}{0.6} + \frac{0.6}{1.75} + 0.05 = 0{,}543\ (\text{м}^2\text{час}\frac{\text{град}}{\text{ккал}}). \quad (1.9)$$

Коэффициент теплопередачи ограждения:

$$k_{ok} = \frac{1}{R_{ok}} = 1.843(\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2\text{час}}\ \text{град}), \quad (1.10)$$

1 кал = 4,19 Дж, тогда

$$k_{ok} = 1.843 * 10^3 * 4{,}19 = 7.723\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}. \quad (1.11)$$

Постоянная времени обогреваемого помещения:

$$T_\text{пм} = \frac{G_\text{пм} * 1{,}005 * 10^3}{k_{ok} * F_{ok}} = 3.8\ \text{час} = 228\ \text{мин}. \quad (1.12)$$

Теперь необходимо определить тепловую энергию, поступающую в помещение от нагревательного прибора. Средняя температура теплоносителя в приборе:

$$t_{пр} = \frac{35+45}{2} = 40°C. \quad (1.13)$$

Коэффициент теплопередачи калорифера при разности между средней температурой теплоносителя и температурой помещения 40-45°С равен 26,4 кДж/час м^2 град. Площадь поверхности нагревательного прибора:

$$F_{пр} = 4 * 0.5 = 2\ м^2, \quad (1.14)$$

Теплоотдача нагревательного прибора (калорифер ПВВ):

$$Q = k_{пр} * F_{пр} * (t_{пр} - t_в) = 26{,}4 * 2 * (40 - 20) = 1056\ кДж, \quad (1.15)$$

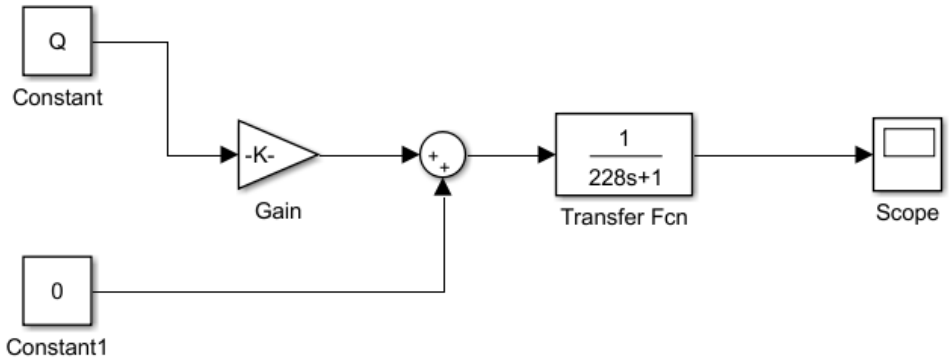


Рисунок 1.4 - Структурная схема разомкнутой системы регулирования температуры в среде MatLab

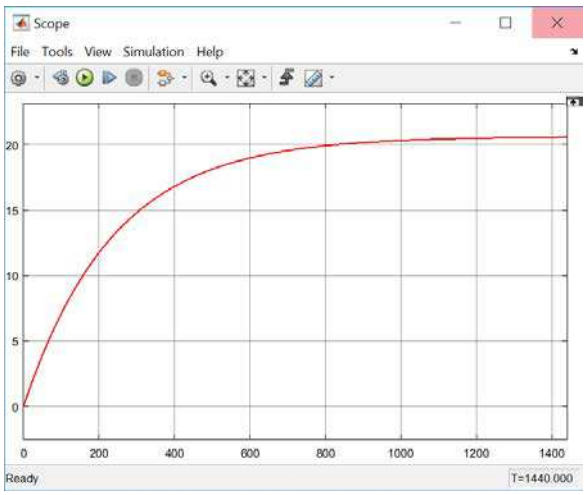


Рисунок 1.5 - Результаты моделирования для температуры воздуха $t_в$

Определим показатели качества для температуры $t_в$:

$$\sigma = \frac{t_{в\,max} - t_{в\,уст}}{t_{в\,уст}} * 100\% = \frac{20{,}6 - 20{,}6}{20{,}6} * 100\% = 0, \qquad (1.16)$$

Время переходного процесса: $t_{п.п.}$= 800 мин.

1.4 Анализ существующей системы управления

Для описания существующей системы управления необходимо разобрать структурную схему системы СКК (рисунок 1.12).

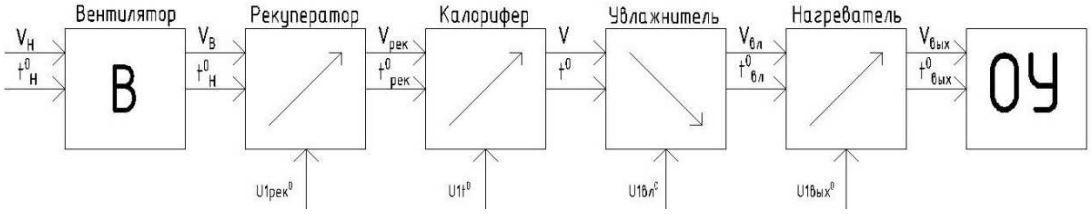


Рисунок 1.6 – Обобщенная функциональная схема системы СКК

На данной схеме изображены стадии изменения температуры воздуха из-за воздействия системы СКК на него:

- приток воздуха (изменений температуры нет);
- проход воздуха через рекуператор (нагрев от отработанного воздуха);
- доведение воздуха до необходимой начальной температуры (нагрев воздуха);
- прохождение воздуха через камеру увлажнения (охлаждение и увлажнение воздуха);
- финальный нагрев воздуха до необходимой температуры;
- подача воздуха в обслуживаемое помещение.

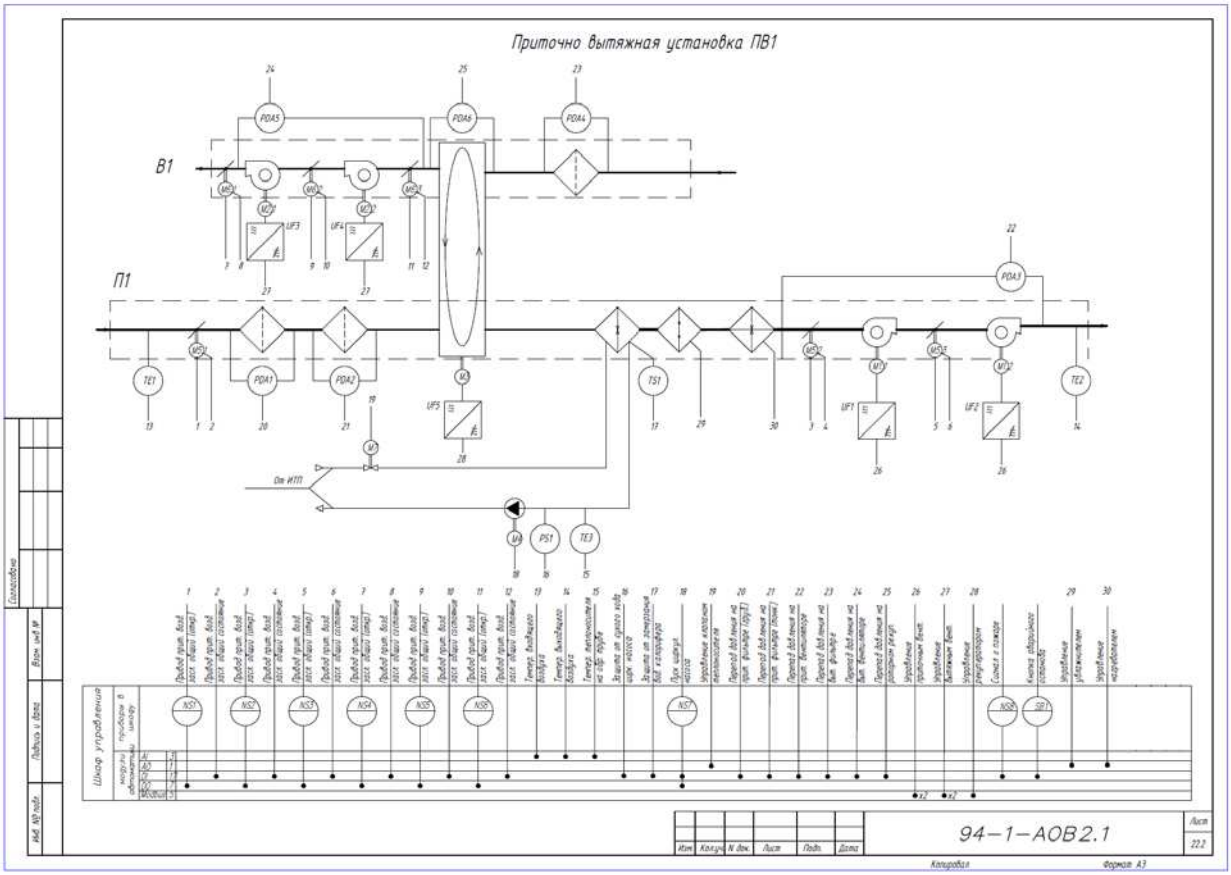


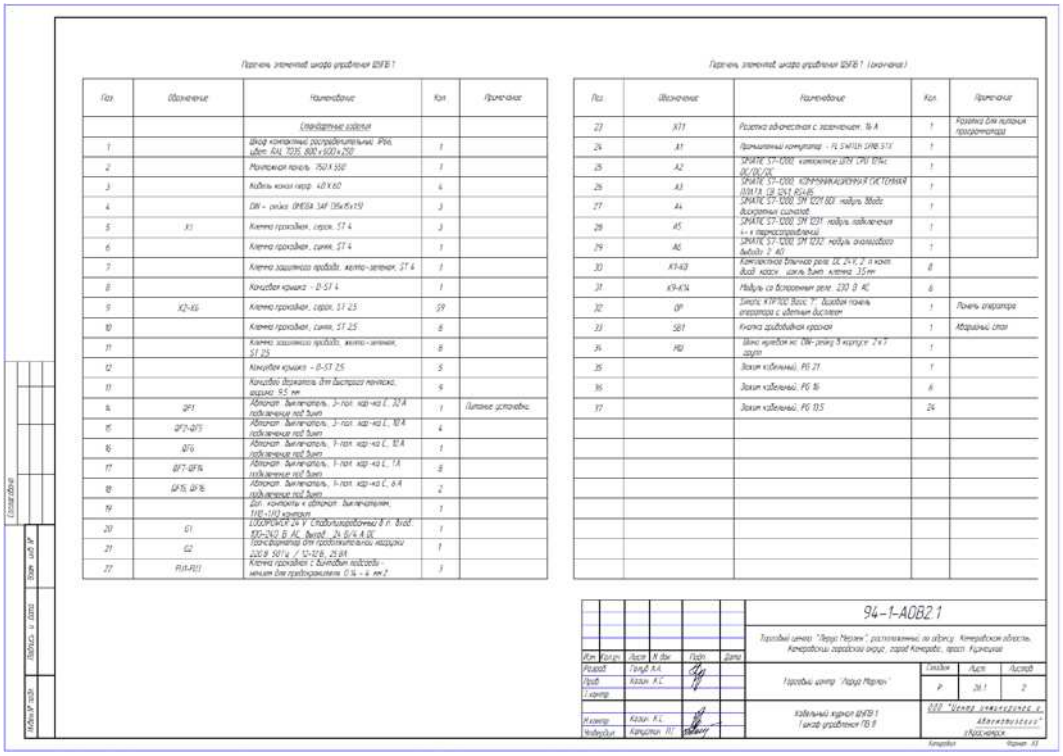
Рисунок 1.7 – Функциональная схема существующего объекта

Из рисунка 1.7 видно, что приточный воздух проходит через заслонку и фильтры, затем он проходит через рекуператор нагреваясь от отработанного воздуха. После рекуператора приточный воздух поступает на калорифер и догревается до определенной температуры. Для увлажнения воздуха после калорифера установлен увлажнитель, который не только поднимает влагосодержание, но и охлаждает его. Чтобы получить конечную (желаемую) температуру воздуха применяется установка нагревателя после увлажнителя. Далее воздух с помощью вентиляторов подается в обслуживаемое помещения.

Вытяжной (отработанный) воздух проходит меньший путь нежели приточный. Он проходит через вытяжной фильтр, рекуператор для подогрева приточного воздуха и затем выпускается в атмосферу.

Также в данной схеме можно увидеть большое количество датчиков. Датчики давления на фильтрах для проверки их засоренности, на рекуператоре и вентиляторах для слежения перепада давления. Датчики температуры для

слежения изменений температуры воздуха, проверки температуры воды в трубе калорифера.



Перечень элементов шкафа управления ШУВ 1

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		Стандартные изделия		
1		Шкаф контактной распределительный, IP66, щит. КАЦ 7035, 800 x 600 x 250	1	
2		Монтажная панель 750 X 550	1	
3		Кабель канал перф. 40 X 60	4	
4		DIN – рейка OMEGA 34F (35x15x15)	3	
5	X1	Клемма проходная, серая, ST 4	3	
6		Клемма проходная, синяя, ST 4	1	
7		Клемма защитная пробойн. желто-зеленая, ST 4	1	
8		Концевая крышка - D-ST 4	1	
9	X2-X6	Клемма проходная, серая, ST 2.5	59	
10		Клемма проходная, синяя, ST 2.5	8	
11		Клемма защитная пробойн. желто-зеленая, ST 2.5	8	
12		Концевая крышка - D-ST 2.5	5	
13		Концевой держатель для быстрого монтажа, ширина 9.5 мм	4	
14	QF1	Автомат. выключатель, 3-пол. хар-ка C, 32 A подключение под шин	1	Питание установки
15	QF2-QF5	Автомат. выключатель, 3-пол. хар-ка C, 10 A подключение под шин	4	
16	QF6	Автомат. выключатель, 1-пол. хар-ка C, 10 A подключение под шин	1	
17	QF7-QF14	Автомат. выключатель, 1-пол. хар-ка C, 1 A подключение под шин	8	
18	QF15, QF16	Автомат. выключатель, 1-пол. хар-ка C, 6 A подключение под шин	2	
19		Доп. контакты к автомат. выключателям, 1НО+1НЗ крепеж	1	
20	G1	ИСТОЧНИК 24 V стабилизированный 8 A; вход: 100–240 В AC, выход: 24 В/4 A DC	1	
21	G2	Трансформатор для предохранительной защиты 220 В 50Гц / 12-12 В, 25 ВА	1	
22	PU1-PU11	Клемма проходная с выводом подземли - земли для предохранителя 0.14 - 4 мм.2	3	

Перечень элементов шкафа управления ШУВ 1 (окончание)

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
23	XT1	Розетка штепсельная с заземлением, 16 A	1	Розетка для питания паяльника
24	A1	Промышленный контроллер - PLC SIMATIC SIMATIC S7-1	1	
25	A2	SIMATIC S7-1200, компактные ЦПУ CPU 1214c DC/DC/DC	1	
26	A3	SIMATIC S7-1200, КОММУНИКАЦИОННЫЙ СИГНАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ SB 1223 RS-485	1	
27	A4	SIMATIC S7-1200 SM 1221 DI 8 модуль 16ти дискретных сигналов	1	
28	A5	SIMATIC S7-1200 SM 1231 модуль подключения к 4-х термосопротивлений	1	
29	A6	SIMATIC S7-1200 SM 1232 модуль аналогового выхода 2 AO	1	
30	K1-K8	Контакторное реле 2Z, 24 V, 2 n конт. доп. класс., шаг 5мм клемма 35 мм	8	
31	K9-K14	Модуль со балорным реле, 230 В AC	6	
32	OP	Шкаф KOPTEC Basic "P" Выдвиж панель оператора с цветным дисплеем	1	Панель оператора
33	SB1	Кнопка грибовидная красная	1	Аварийный стоп
34	HL1	Шина нулевая на DIN-рейку 5 контуров 2 x 5 серия	1	
35		Зажим кабельный, PG 21	1	
36		Зажим кабельный, PG 16	8	
37		Зажим кабельный, PG 13.5	24	

94-1-АОВ2.1

Торговый центр "Лорд Парк", расположенный по адресу: Кемеровская область, Кемеровский городской округ, город Кемерово, проспект Кузнецкий

Изм.	Кол.уч.	Лист	N док.	Подп.	Дата
Разраб.		Гонцов А.А.			
Пров.		Казин А.С.			
Т.контр.					
Н.контр.		Казин А.С.			
Утверд.		Капустин П.С.			

Торговый центр "Лорд Парк"

Стадия	Лист	Листов
Р	26.1	2

Кабельный журнал ШУВ 1 / шкаф управления ПВ 8

ООО "Центр инженерных и информационных технологий" г.Красноярск

Копировал | Формат А3

Согласовано

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл

1.5 Подходы к решению задачи управления

Для решения задачи регулирования климата можно использовать два метода:

Инженерный метод.

Для этого метода необходимо использовать I-D диаграмму влажного воздуха (рисунок 1.9).

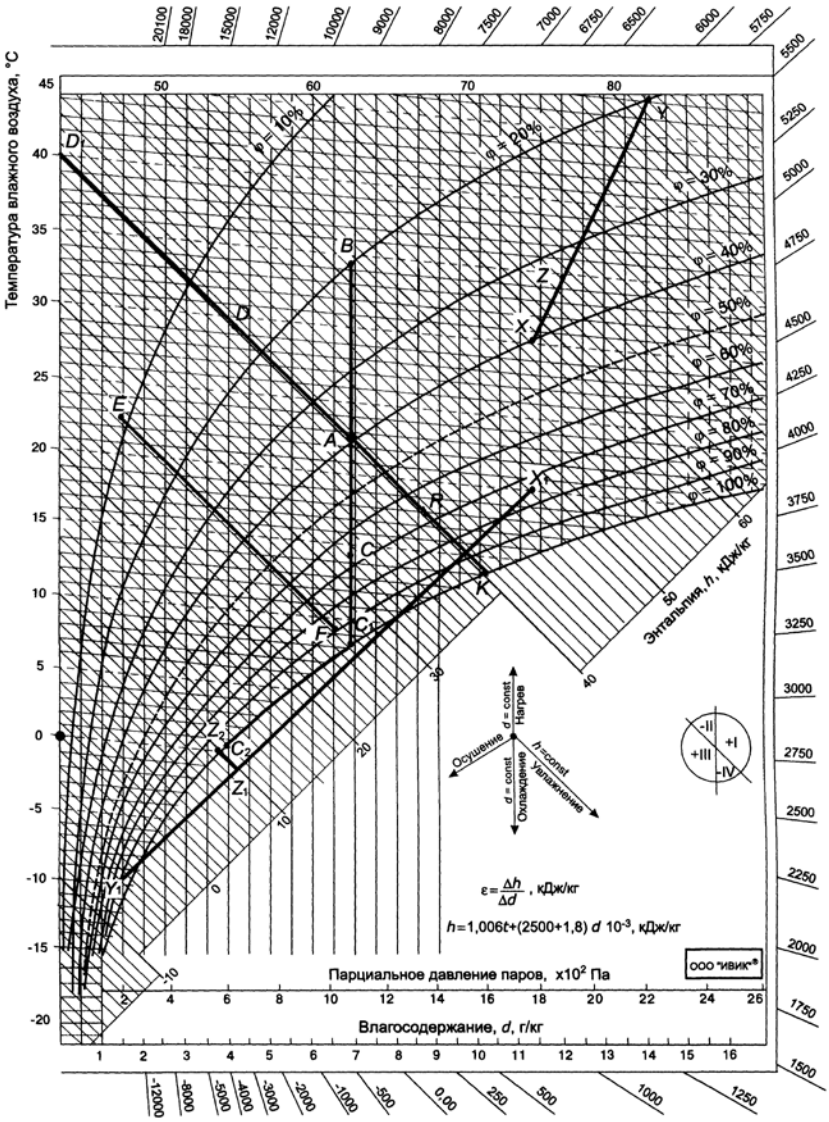


Рисунок 1.9 – I-D диаграмма

Процесс нагревания воздуха.

При нагревании воздуха линия термодинамического процесса проходит по прямой *AB* (рисунок 1.9) с постоянным влагосодержанием *(d* = const). Температура воздуха и энтальпия увеличиваются, а относительная влажность уменьшается. Расход тепла на нагрев воздуха равен разности энтальпий

конечного и начального состояний воздуха.

Процесс охлаждения воздуха.

Процесс охлаждения воздуха на *d-h* диаграмме отражается прямой, направленной вертикально вниз (прямая *AC,* рисунок 1.7). Расчет производится аналогично процессу нагревания. Однако если линия охлаждения идет ниже линии насыщения, то процесс охлаждения пойдет по прямой *AC* и далее по линии φ = 100 % от точки C_1 до точки C_2.

Процесс осушения влажного воздуха.

Осушение влажного воздуха абсорбентами без изменения тепло-содержания (без отвода и подвода тепла) происходит по прямой *A*=const, то есть по прямой *AD***,** направленной вверх и влево. При этом влагосодержание и относительная влажность снижаются, а температура воздуха возрастает, так как в процессе абсорбции происходит конденсация пара на поверхности абсорбента, и освобожденная скрытая теплота пара переходит в тепло явное. Пределом этого процесса является точка пересечения прямой *h* = const с ординатой *d* = 0 (точка D_x). Воздух в этой точке полностью освобожден от влаги.

С помощью данной диаграммы настраивается оборудование и выбираются режимы работы оборудования в соответствии с требованиями СанПиН.

Особенность данной диаграммы заключается в том, что она применима только для определенного атмосферного давления (745 мм.рт.ст.), но данная особенность решается путем перерасчета параметров . Главными параметрами являются:

- температура *t*, ^{0}С;
- относительная влажность φ, %;
- влагосодержание *d*, г/кг;
- энтальпия *h*, кДж/кг.

Рассмотрим пример реального управления климата с помощью I-D диаграммы

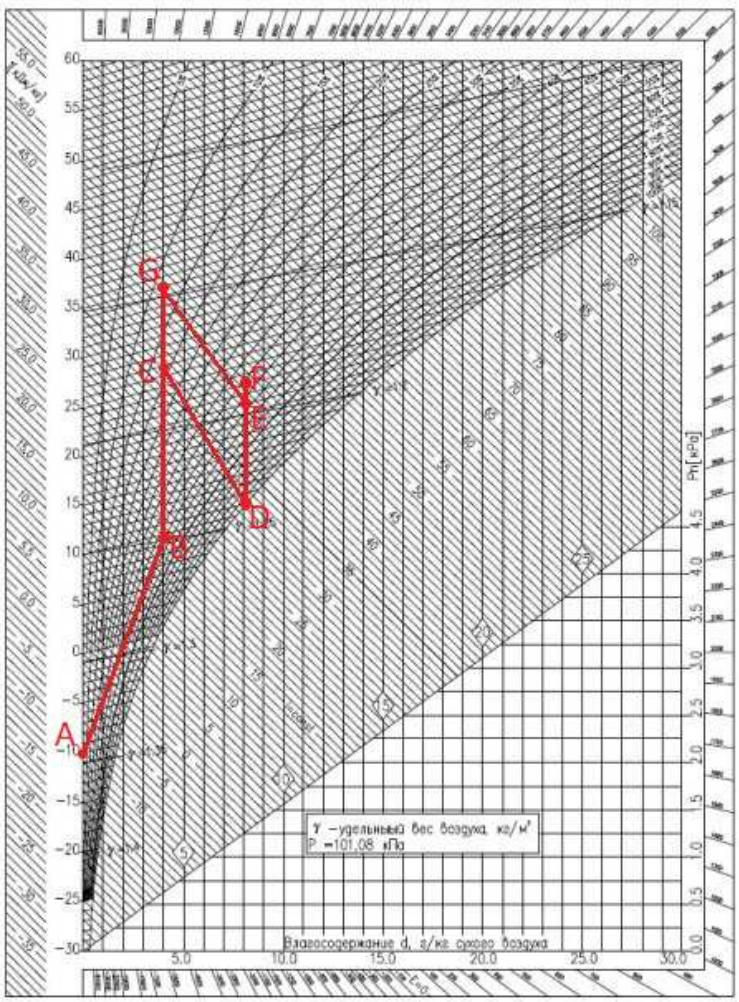


Рисунок 1.10 – Реальный пример управления климатом помещения

Воздух поступающий в систему (наружный) догревается до температуры 10°C (AB) с помощью рекуператора. Далее калорифером температура воздуха поднимается до значения 27°C (BC), после включается увлажнитель и охлаждает воздух до 11°C (CD) параллельно насыщая его водой тем самым увеличивая его относительную влажность и влагосодержание. После достижения воздухом значения 11°C он снова догревается нагревателем до 26°C (DF).

Инженерный метод настройки ПИД регулятора:

- устанавливается коэффициент K_p равным единице, а K_I и K_D равными нулю;

- коэффициент K_p изменяется с равным шагом пока не будет достигнут желаемый результат;
- с коэффициентами K_I и K_D проводят такие же операции как и с K_p до полной настройки.

Модель теплого баланса.

Так же данную задачу возможно смоделировать с помощью среды программирования Matlab используя модуль Partial Differential Equation. В данном модуле можно смоделировать помещения и задав граничные условия получить результат воздействия оборудования на климат помещения.

Первым этапом было создание самого помещения размерами 100 на 83,4 метров:

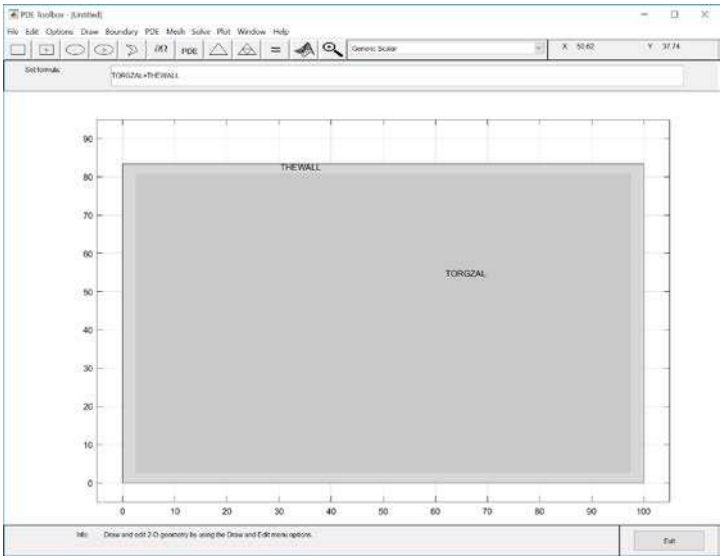


Рисунок 1.11 – Модель помещения

TORGZAL – Объект управления (торговый зал);

THEWALL – Стена торгового зала.

Далее были заданы граничные условия. Для границ под номером 8, 5, 3 применили условия Дирихле (условия температуры на самой границе), а для границы под номером 4 условия Неймана (условия теплового потока от границы).

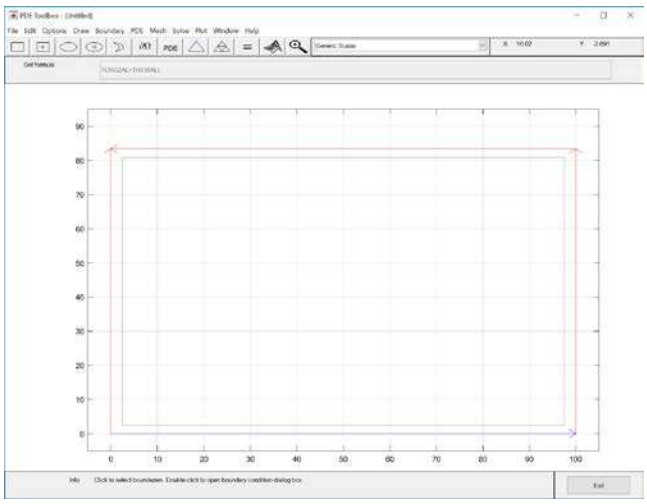


Рисунок 1.12 – Задание граничных условий модели

Для условий Дирихле - 18°С

Для условий Неймана - плотность потока тепловой мощности 40 Вт/м^2, коэффициент распределения тепла – 1.

После была создана сетка объекта:

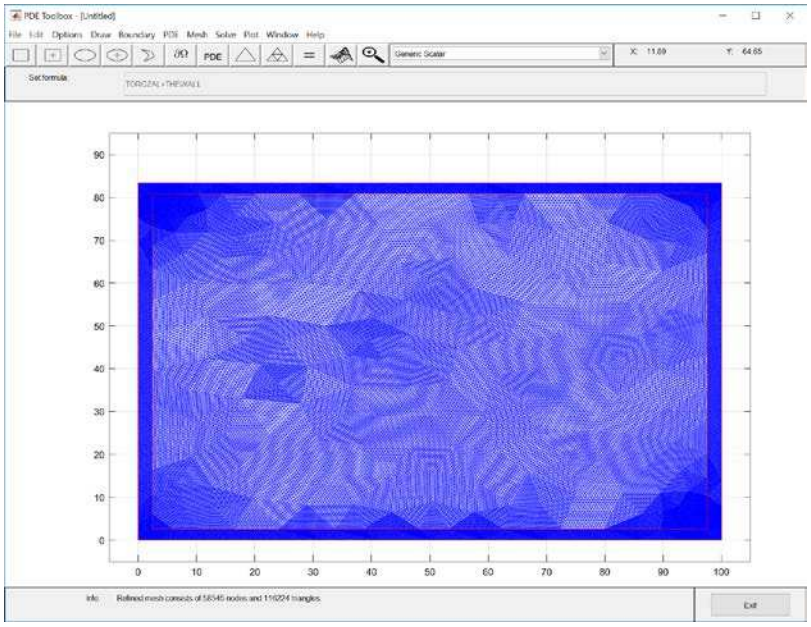


Рисунок 1.13 – Сетка объекта

Результат моделирования:

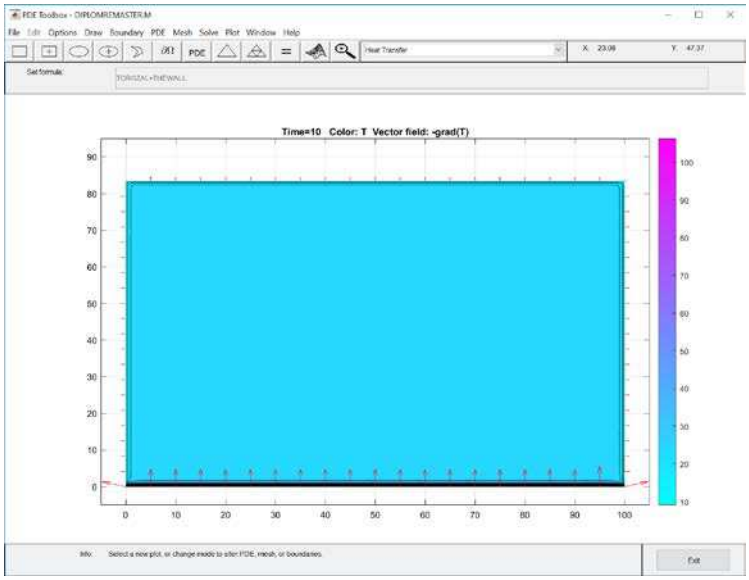


Рисунок 1.14 – Результаты моделирования в PDE

Существенным минусом данного метода является невозможность настройки оборудования и получения данных не полного объема, а в сечении.

2 Разаработка математической модели

2.1 Статическая модель

Для создания статической модели была взята за основу I-D диаграмма. В пакете MathCad был использован метод МНК. Модель имеет вид [3]:

$$y = a_0 x_0 + a_1 x_1 + \ldots + a_n x_n + v, \tag{2.1}$$

где x_j – линеаризованные переменные (регрессоры); a_j – неизвестные параметры.

В матричной форме МНК-оценки вычисляют по формуле

$$\hat{a} = \left(X^T X\right)^{-1} X^T Y, \tag{2.2}$$

X и Y – матрицы наблюдений.

Модель в MathCad имеет вид:

$$y = -40 + a_1 * q_1 * \sqrt{x}, \tag{2.3}$$

где -40 – коэффициент диаграммы ;

a – МНК-оценки;

q – относительная влажность;

x – влагосодержание.

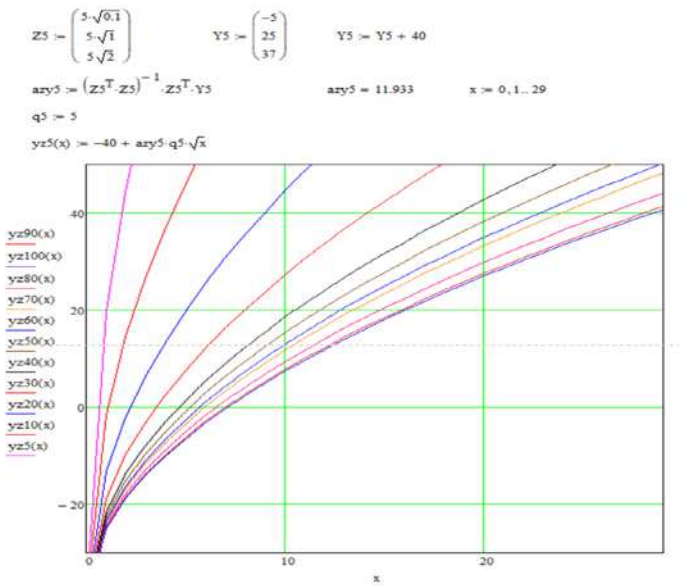


Рисунок 2.1 – Результаты построения графика модели

Для каждой кривой влажности были сформированы отдельные матрицы наблюдения.

Как видно из рисунка 2.1, график полностью повторяет I-D диаграмму за исключением линий энтальпии.

Так же выше указанный «метод MatLab» может быть использован в качестве статической мод

2.2 Динамическая модель

Как было указано выше основными величинами являются:

- температура t, ^{0}C;
- относительная влажность φ, %;
- влагосодержание d, г/кг;
- энтальпия h, кДж/кг;

Любые две величины из перечисленных однозначно определяют две другие.
И ещё два числа, которые часто бывают необходимы:

- максимальное влагосодержание при данной температуре dm, г/кг;
- давление насыщенного пара при данной температуре $P_н$, Па;

Итак, задача в том, чтобы по любым двум заданным основным параметрам вычислять два оставшихся основных и все производные из них параметры состояния влажного воздуха.
Принятые обозначения и единицы измерения:

- P_n - парциальное давление водяного пара во влажном воздухе, Па;
- $P_б$ - барометрическое давление атмосферы, Па;
- $P_н$ - давление насыщенного водяного пара, Па;

Парциальное давление и влагосодержание связаны соотношениями :

$$P_п(d)=\frac{P_б*d}{622+d}. \quad (2.5)$$

$$d(P_п)=\frac{622*P_п}{P_б-P_п}. \quad (2.6)$$

Относительная влажность вычисляется из соотношения:

$$\varphi = \frac{P_п*100\%}{P_н}. \quad (2.7)$$

Давление насыщенного водяного пара $P_н$, как известно, зависит только от температуры. Для интервала температур от -50 до 50 ^{0}C:

$$P_н(t)=611.2*exp\left(\frac{a*t}{b+t}\right). \quad (2.8)$$

Значения a и b для воды (t>=0): a=17.504, b=241.2, для льда: a=22.489, b=272.88. Обратное соотношение, соответственно, будет выглядеть как:

$$t(P_н)=\frac{b*\ln(\frac{P_н}{611.2})}{a-\ln(\frac{P_н}{611.2})}. \quad (2.9)$$

Для удельной энтальпии рекомендуют формулу :

$$h(t,d)=1.006*t+2.501*d+0.00185*t*d. \quad (2.10)$$

Отсюда получаются и производные зависимости:

$$t(h,d)=\frac{h-2.501*d}{1.006+0.00185*d}. \quad (2.11)$$

$$d(h,t)=\frac{h-1.006*t}{2.501+0.00185*t}. \quad (2.12)$$

Итак, основные варианты алгоритмов вычисления основных параметров в

зависимости от исходных данных.

Алгоритм 1. Известны температура t и влажность φ. Вычисляем давление насыщенных паров воды $P_н(t)$ по формуле (2.7), затем парциальное давление водяного пара $P_п(P_н,)$ из формулы (2.6), полученное значения $P_п$ подставляем в формулу (2.5) и находим влагосодержание $d(P_п)$, и по формуле (2.9) рассчитываем энтальпию $h(t,d)$.

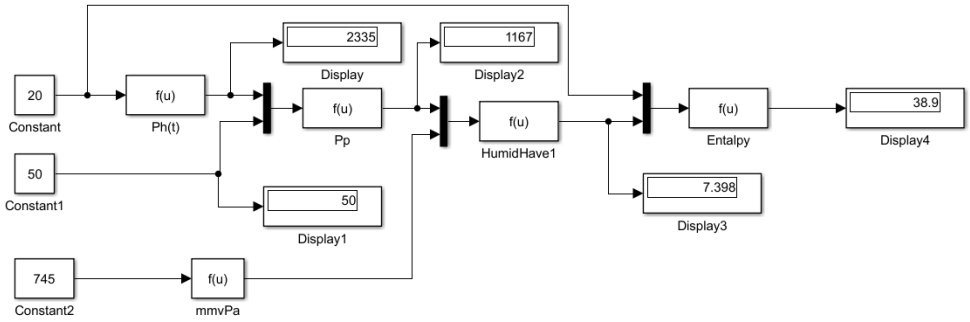


Рисунок 2.4 – Модель расчета параметров влажного воздуха при известной температуре и влажности.

Алгоритм 2. Известны температура t и влагосодержание d. Вычисляем давление насыщенных паров воды $P_н(t)$ по формуле (2.7), затем парциальное давление водяного пара $P_п(d)$ из формулы (2.4), полученные значения $P_п$ и $P_н$ подставляем в формулу (2.6) и находим влажность φ, и по формуле (2.9) рассчитываем энтальпию $h(t,d)$.

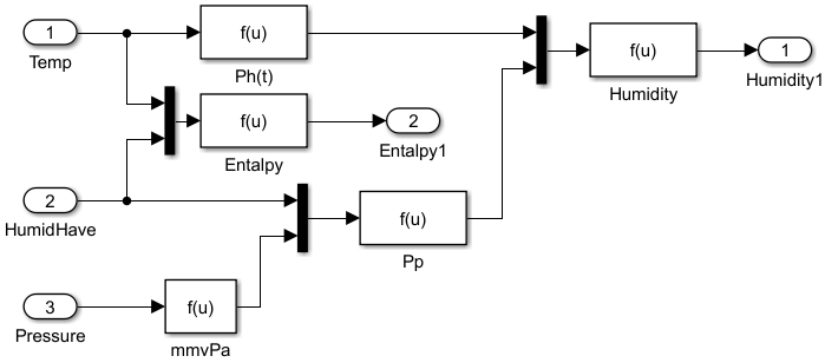


Рисунок 2.5 – Модель расчета параметров влажного воздуха при известной температуре и влагосодержании.

2.3 Обобщенная модель

В ходе работы была построена обобщенная модель (рисунок 2.6) включающая алгоритмы 1 и 2 (пункт 2.2). В данной схеме регулирование осуществляется ПИ регулятором.

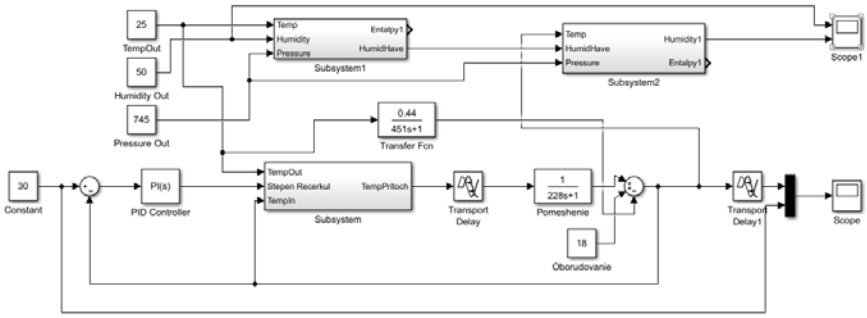


Рисунок 2.6 – Полная модель вентиляционной системы с учетом параметров воздуха.

Результаты работы модели:

Данные:

Температура наружного воздуха = 15°C;

Относительная влажность = 50°C;

Уставка по температуре = 30°C.

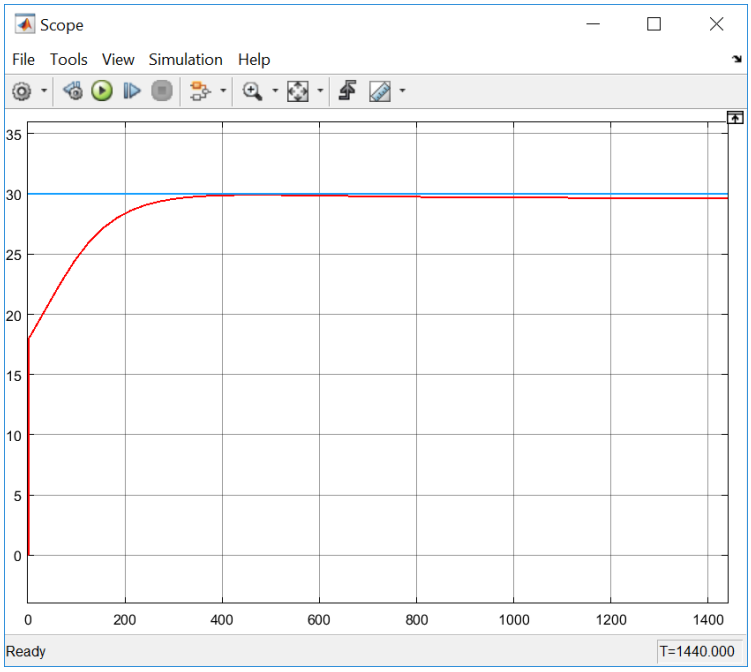


Рисунок 2.7 – Результат регулирования по температуре

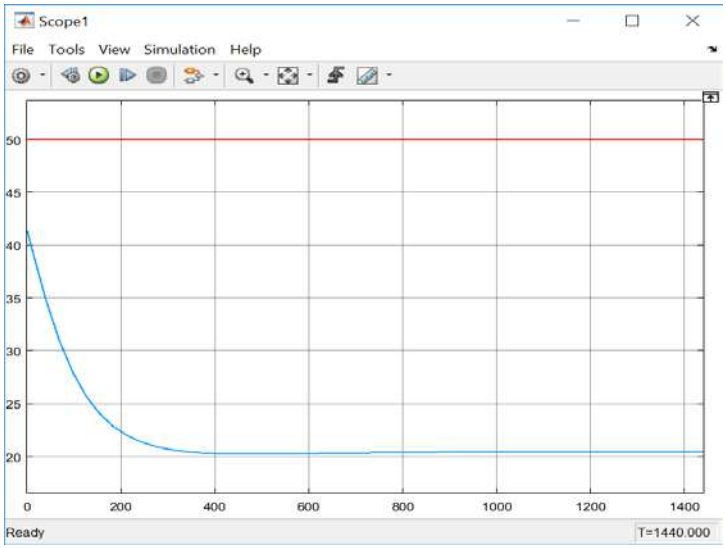


Рисунок 2.8 – Результат пересчета влажности

Данные:

Температура наружного воздуха = -15°С;

Относительная влажность = 50°С;

Уставка по температуре = 30°С.

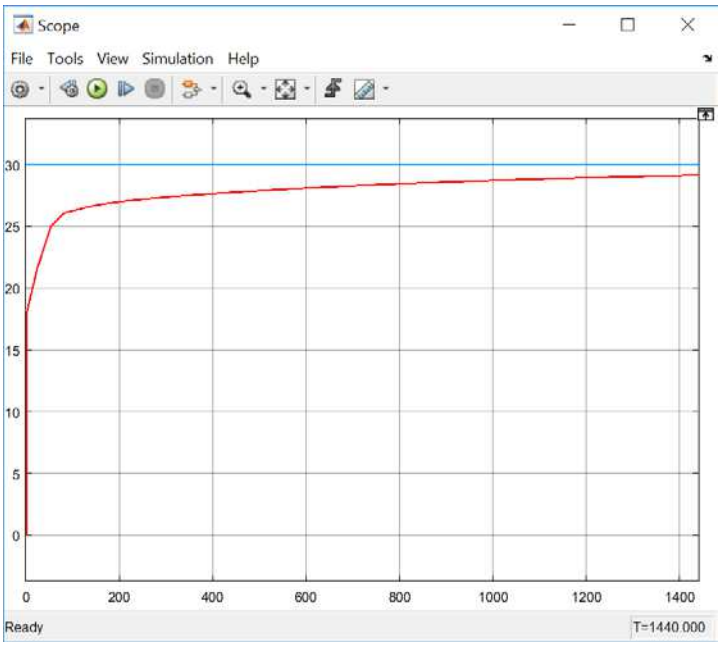


Рисунок 2.9 – Результат регулирования по температуре

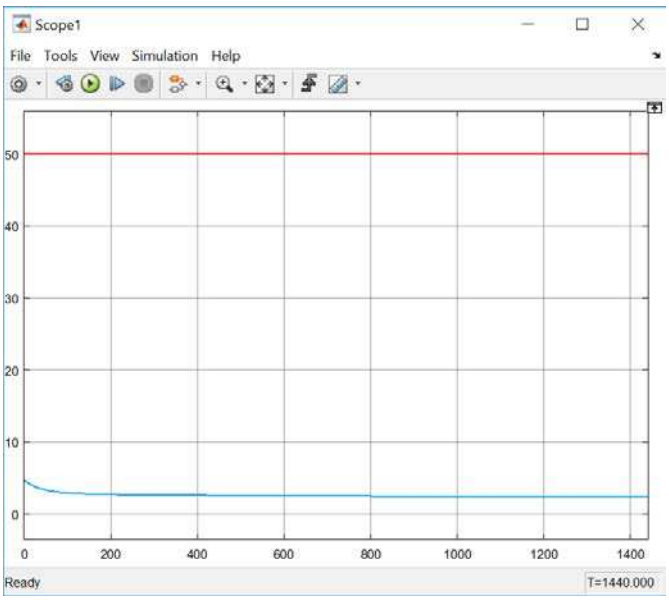


Рисунок 2.10 – Результат пересчета влажности

Данные:

Температура наружного воздуха = 25°С;

Относительная влажность = 50°С;

Уставка по температуре = 30°С.

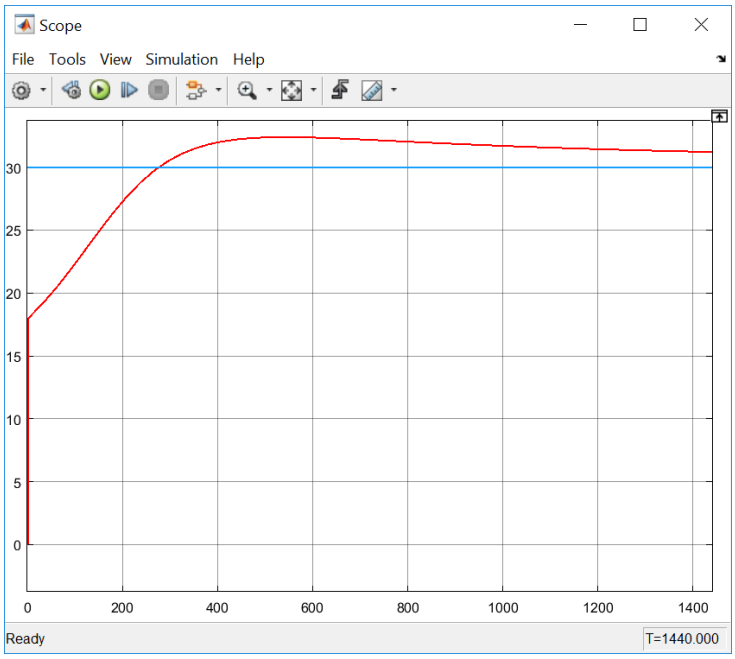


Рисунок 2.11 – Результат регулирования по температуре

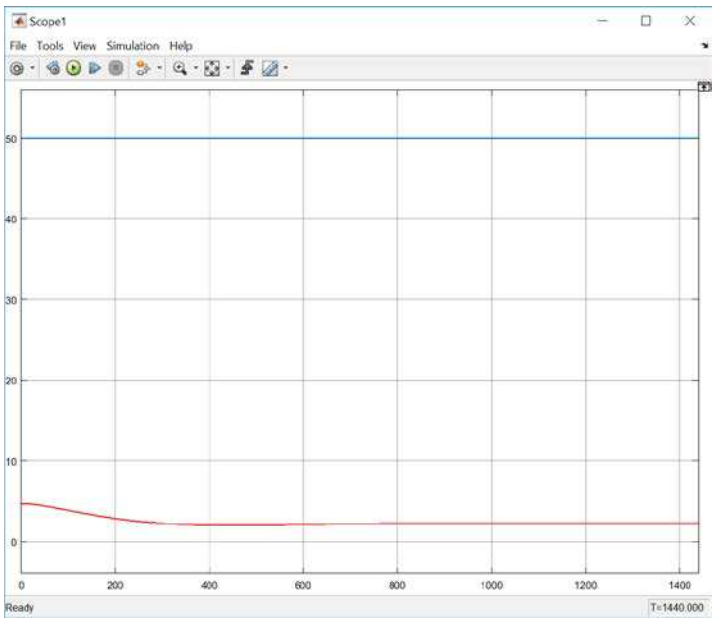


Рисунок 2.12 – Результат пересчета влажности

3. Разработка адаптивной системы управления

3.1 Структура адаптации

Поисковые СНС подразделяются на непрерывные и дискретные. Алгоритм оптимизации реализует прямые методы поиска (последовательный симплексный поиск, градиентный метод и их модификации).

В беспоисковых СНС в явном или неявном виде имеется модель с желаемыми динамическими характеристиками. Задача алгоритма адаптации состоит в настройке коэффициентов регулятора таким образом, чтобы свести рассогласование между объектом управления и моделью к нулю. Такое управление называют *прямым адаптивным управлением* (direct adaptive control), а системы – *адаптивными системами с эталонной моделью* (model reference adaptive systems). В случае *непрямого адаптивного управления* (indirect adaptive control); сначала проводят идентификацию объекта, а затем определяют соответствующие коэффициенты регулятора. Такие регуляторы называются *самонастраивающимися* (self-turning regulators).

При прямом адаптивном управлении контуры адаптации работают по замкнутому циклу. Это позволяет компенсировать изменения параметров объекта и регулятора. Однако каждый контур самонастройки повышает порядок системы как минимум на единицу и при этом существенно влияет на общую динамику замкнутой системы. Процесс адаптации в системах с самонастраивающимися (самооптимизирующимися) регуляторами (рисунок 3.1) реализуется в три этапа :

- идентификация ОУ или системы управления в целом;
- расчет регулятора;
- настройка регулятора (или изменение его структуры).

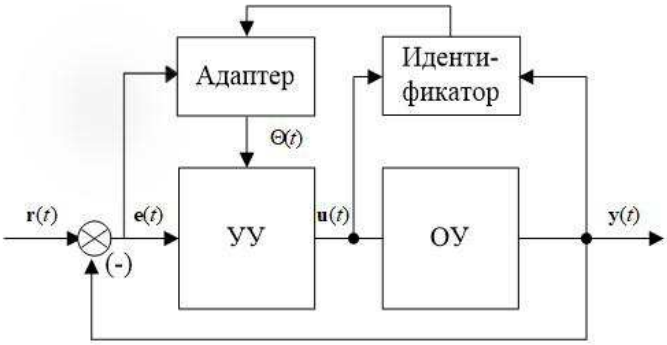


Рисунок 3.1 - Самонастраивающийся адаптивный регулятор

3.2 Идентификация

Экспериментальное определение параметров динамической модели предполагает измерение входных и выходных переменных объекта в дискретные моменты времени. Перейдем от непрерывной модели к дискретной с помощью Matlab. Для перехода используют команду tf, с добавлением в их синтаксис периода квантования T_0 [3].

Например, строка команды

W1=tf(1,[237 1])

```
W1 =

      1
  ---------
  237 s + 1

Continuous-time transfer function.


Wz =

    0.2237
  ----------
  z - 0.7763

Sample time: 60 seconds
Discrete-time transfer function.
```

Рисунок 3.2 – Вывод в command window Matlab

Первые реализованные в системах управления методы идентификации динамических объектов типа «вход-выход» были основаны на использовании частотных, ступенчатых и импульсных воздействий. Эти методы требуют специально спланированных входных сигналов, а именно ступенчатых сигналов для идентификации по переходной функции, импульсных входных сигналов для идентификации по весовой функции и синусоидальных входных сигналов с различными частотами для определения частотной характеристики. Большинство этих методов применимы для линейных процессов и частично для линеаризованных и основаны на преобразовании Фурье.

Спектральные соотношения входных и выходных сигналов также можно использовать для идентификации параметров частотных функций динамических процессов.

В настоящее время для идентификации динамических процессов широкое применение нашли методы регрессионного анализа (метод наименьших квадратов), методы стохастической аппроксимации и последовательного обучения, метод квазилинеаризации, градиентный метод с прогнозом, эвристические методы идентификации .

Рассмотрим методы идентификации динамических объектов, основанные на регрессионных процедурах с использованием метода наименьших квадратов.

Рассмотрим одномерный дискретный динамический объект (рисунок 3.2).

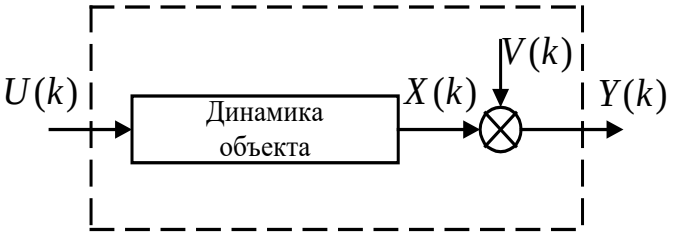


Рисунок 3.3 - Одномерный динамический объект

Модель объекта представим в виде разностного уравнения

$$x(k) = a_1 x(k-1) + ... + a_n x(k-n) + b_1 u(k-d-1) + ... + b_m u(k-d-m), \qquad (3.1)$$

и уравнение наблюдения

$$y(k) = x(k) + v(k),$$

где

$$\left.\begin{aligned} u(k) &= U(k) - \overline{U} \\ y(k) &= Y(k) - \overline{Y} \end{aligned}\right\} - \qquad (3.2)$$

центрированные переменные; $U(k)$, $Y(k)$ – абсолютные сигналы входа и выхода, $\overline{U}$, $\overline{Y}$ – установившиеся значения входа и выхода.

Следовательно, переменные $u(k)$ и $y(k)$ являются вариациями абсолютных сигналов относительно установившихся значений.

Величина d определяет запаздывание, равное целому числу тактов квантования.

Неизмеряемую вариацию выходной переменной $x(k)$ подставим в уравнение наблюдения и получим

$$y(k) = a_1 x(k-1) + ... + a_n x(k-n) + b_1 u(k-d-1) + ... + b_m u(k-d-m) + V_k . \qquad (3.3)$$

Выражая в (3.3) аналогично остальные значения $x(k-1)$, $x(k-2)$,…, $x(k-n)$ через наблюденные значения $y(k-1)$, $y(k-2)$,…, $y(k-n)$, получим

$$y(k) = \psi^T(k) \cdot \theta(k-1) + V(k), \qquad (3.4)$$

где $y(k)$ – наблюденное (измеренное) значение вариации выходной переменной;

$$\psi^T(k) = \left[y(k-1)y(k-2)...y(k-n) \vdots u(k-d-1)...u(k-d-m)\right] \qquad (3.5)$$

– вектор-строка наблюденных значений вариаций выходной переменной и входного воздействия, размерности $[(n+m)\times 1]$;

$\theta^T(k-1) = \left(a_1 a_2 ... a_n \vdots b_1 b_2 ... b_m\right)$ – вектор-строка неизвестных параметров модели (3.1) на $(k-1)$ такте измерений, размерности $[1\times(n+m)]$.

Структура строки (3.5) повторяет структуру правой части уравнения (3.3) при замене $x(k)$ наблюдением $y(k)$, $x(k-1)$ соответственно $y(k-1)$ и т.д.

Допустим, что измерения выполнены на интервале $k = 1,2,...,n+d+N$. Результаты эксперимента представим согласно (3.4) в векторно-матричной

форме

$$Y(n+d+N)=\psi(n+d+N)\theta(n+d+N-1)+V(n+d+N), \qquad (3.6)$$

где

$$Y(n+d+N)=\begin{pmatrix} y(n+d) \\ y(n+d+1) \\ \dots \\ y(n+d+N) \end{pmatrix}; \qquad (3.7)$$

$$\psi(n+d+N)=\begin{pmatrix} y(n+d-1) & y(n+d-2) & \cdots & y(d) & \vdots & u(m-1) & u(m-2) & \cdots & u(0) \\ y(n+d) & y(n+d-1) & \cdots & y(d+1) & \vdots & u(m) & u(m-1) & \cdots & u(1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y(n+d+N-1) & y(n+d+N-2) & \cdots & y(N+d) & \vdots & u(m+N-1) & u(m+N-2) & \cdots & y(N) \end{pmatrix} \qquad (3.8)$$

Для получения оценок неизвестных параметров θ воспользуемся методом наименьших квадратов.

Тогда из (3.6) непосредственно имеем

$$\theta(n+d+N-1)=C(n+d+N)\psi^T(n+d+N)Y(n+d+N), \qquad (3.9)$$

где

$$C(n+d+N)=\left[\psi^T(n+d+N)\psi(n+d+N)\right]^{-1}, \qquad (3.10)$$

при условии, что $N \geq 2n$.

Выражение (3.9) может быть реализовано после того, как сформирован массив, содержащий все измерения вариаций входных и выходных сигналов.

Процедура (3.9) аналогична процедуре для статических моделей.

Рекуррентный метод наименьших квадратов (РМНК).

Результаты эксперимента (3.9) можно обработать также РМНК

$$\hat{\theta}(k)=\hat{\theta}(k-1)+\gamma(k)\left[y(k)-\psi^T(k)\,\hat{\theta}(k-1)\right], \quad k=1,2,... \qquad (3.11)$$

где вектор коррекции

$$\gamma(k) = \frac{C(k-1)\psi(k)}{1+\psi^T(k)C(k-1)\psi(k)}, \tag{3.12}$$

а ковариационная матрица оценок параметров

$$C(k) = C(k-1) - \gamma(k)\psi^T(k)C(k-1). \tag{3.13}$$

В уравнении (3.11) выражение в квадратной скобке равно невязке между измеренным на объекте значением выходной переменной $y(k)$ и предсказанной по модели с оценками, полученными на предыдущем такте вычислений

$$e(k) = [y(k) - \hat{y}(k)], \tag{3.14}$$

где

$$\hat{y}(k) = \psi^T(k)\hat{\theta}(k-1). \tag{3.15}$$

Исходными данными для алгоритма служат

$$\hat{\theta}(0) = 0; C(0) = \alpha I_{(n+m)\times(n+m)} \tag{3.16}$$

причем число α должно быть достаточно велико.

Полученные оценки (3.11) будут несмещенными $M\{\hat{\theta}(N)\} = \theta$ при конечном N и состоятельны в среднем квадратичном $\lim\limits_{N\to\infty} M\{\hat{\theta}(N)\} = \theta$, $\lim\limits_{N\to\infty} M\left\{[\hat{\theta}(N) - \theta][\hat{\theta}(N-\theta)]^T\right\} = 0$, если выполняются следующие условия [ ]:

- порядок объекта n и величина запаздывания d известны (структурная адекватность);

- измерение входного сигнала $u(k) = U(k) - \overline{U}$ – производятся без ошибок, и известно установившееся значение входа $\overline{U}$;

- входной сигнал представляет собой возбуждающий процесс порядка не ниже n;

- на выходной сигнал $x(k) = X(k) - \overline{X}$ может действовать возмущение в виде стационарного шума $V(k)$. Установившееся значение $\overline{X}$ известно и равно величине $\overline{U}$, умноженной на статический коэффициент усиления объекта;

- невязка $e(k)$ не коррелированна с элементами вектора данных $\psi^T(k)$;

- $M\{e(k)\}=0$.

При этом сходимость оценок зависит от выбора исходных значений $C(0)$ и $\hat{\theta}(0)$.

Для получения вариации $u(k)$ и $y(k)$ необходимо либо иметь оценки установившихся значений $\overline{U}$ и $\overline{Y}$, либо перестроить алгоритм оценивания.

Использование разностей.

Так для получения вариаций в отсутствие информации об установившихся значениях переменных переходят к разностям

$$\left.\begin{aligned} U(k)-U(k-1)=u(k)-u(k-1)=\Delta u(k) \\ Y(k)-Y(k-1)=y(k)-y(k-1)=\Delta y(k) \end{aligned}\right\}. \qquad (3.17)$$

В процедуре (3.11) используют разности (3.11).

Текущее усреднение.

Другой подход состоит в оценке текущего среднего значения [21]

$$\overline{Y}(k)=\overline{Y}(k-1)+\frac{1}{k}\left[Y(k)-\overline{Y}(k-1)\right], \qquad (3.18)$$

$$\overline{U}(k)=\overline{U}(k-1)+\frac{1}{k}\left[U(k)-\overline{U}(k-1)\right], \qquad (3.19)$$

и переход к вариациям по формулам

$$\left.\begin{aligned} u(k)=U(k)-\overline{U}(k) \\ y(k)=Y(k)-\overline{Y}(k) \end{aligned}\right\}. \qquad (3.20)$$

Оценивание свободного члена.

Третий подход связан с введением постоянной составляющей (константы), являющейся совместной оценкой установившихся уровней. Так, если разности (3.2) подставить в уравнение (3.1), то после преобразований имеем

$$X(k)=-a_1X(k-1)-...-a_nX(k-n)+b_1U(k-d-1)+...+b_mU(k-d-m)+q, \qquad (3.21)$$

где константа

$$q=(1+a_1+...+a_n)\overline{X}-(b_1+...+b_m)\overline{U}. \qquad (3.22)$$

Если расширить вектор $\theta(k-1)$ константой q, а вектор данных $\psi^T(k)$

составляющей $Y_0 = 1$, то можно в процедуре (3.11) использовать непосредственные измерения $Y(k)$ и $U(k)$.

При этом будем получать и оценку $\hat{q}$. Если априори известно $\overline{U}$ или $\overline{Y}$, то по (3.14) при известном (оцененном) $\hat{q}$ легко вычислить другое установившееся значение $\overline{Y}$ или $\overline{U}$.

Далее был собран блок идентификации и внедрен в полную модель.

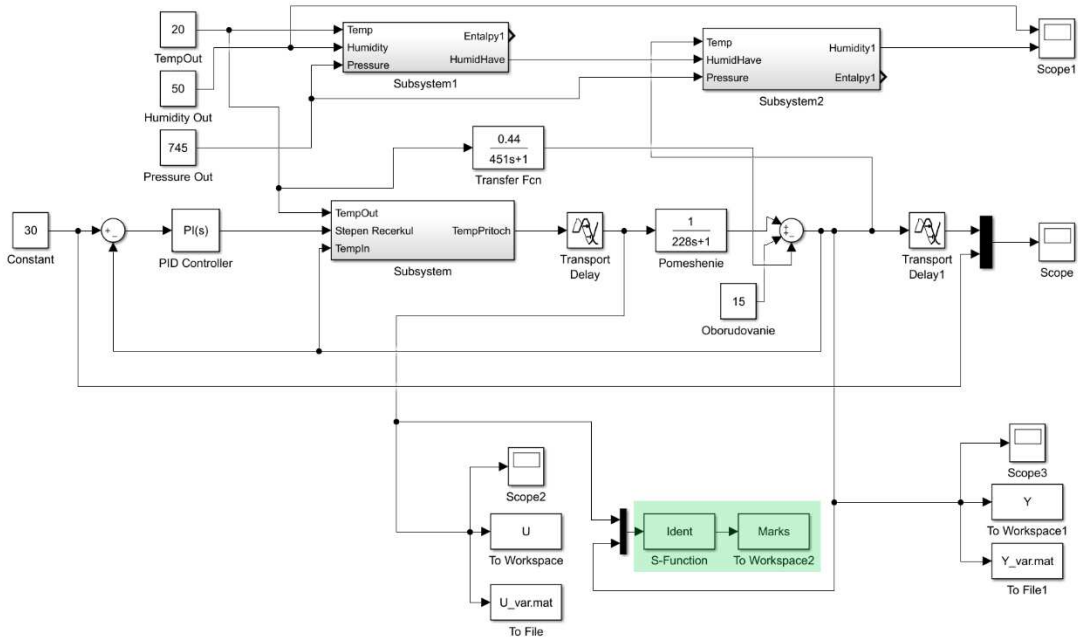


Рисунок 3.4 - Полная модель с системой идентификации

3.3 Адаптация параметров регулятора

Для адаптации было принято решение заменить стандартный ПИД – регулятор на нейросетевой ПИД – регулятор (рисунок 3.4) [4].

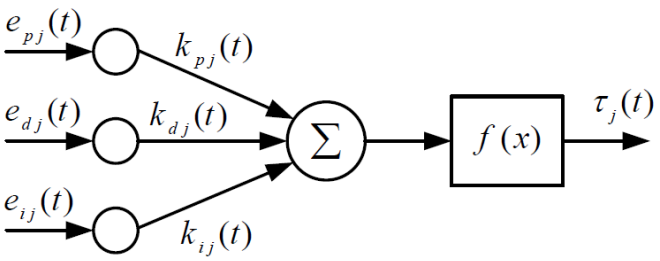


Рисунок 3.5 – Структура ПИД-регулятора на основе нейронной сети

Здесь k_{pj}, k_{ij}, k_{dj} (j =1) являются пропорциональным, интегральным и дифференциальным коэффициентом, а e_{pj}, e_{ij}, e_{dj} системными ошибками между желаемым и реальным значением, интегралом ошибки и дифференциалом ошибки. Выходное значение τ_j можно получить из следующего уравнения:

$$\tau_j = f(x), \tag{3.21}$$

Где x является входом вход сигмовидной функции f , которая имеет нелинейное соотношение, представленное в следующей функции:

$$f(x) = \frac{2(1-e^{-ax})}{a(1-e^{-ax})}, \tag{3.22}$$

где a - параметр, определяющий форму сигмовидной функции.

$$x(t) = k_{pj}(t)e_{pj}(t) + k_{ij}(t)e_{ij}(t) + k_{dj}(t)e_{dj}(t), \tag{3.23}$$

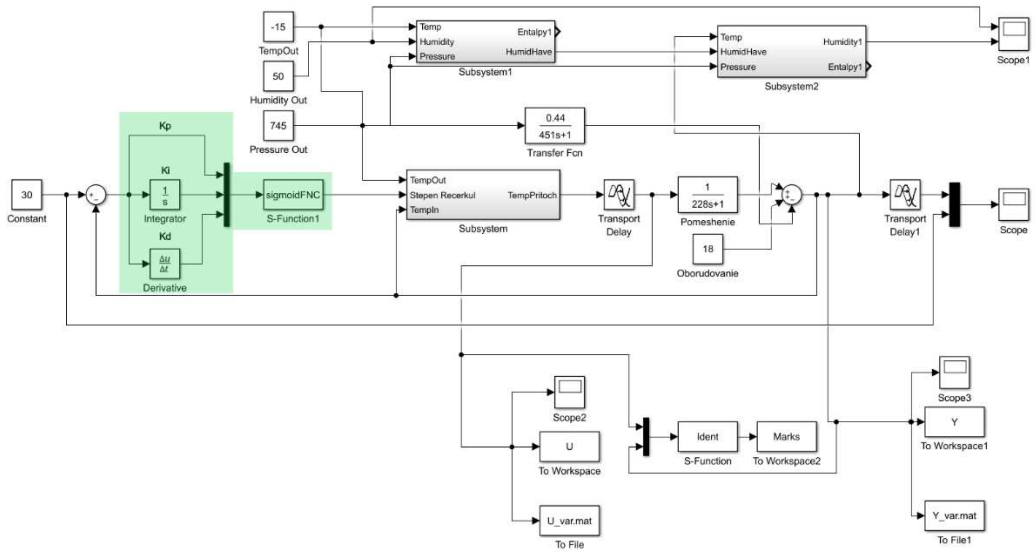


Рисунок 3.6 – Полная модель с адаптивной СУ

Результаты работы модели после адаптации параметров регулятора:

Данные:

Температура наружного воздуха = 15°С;

Относительная влажность = 50°С;

Уставка по температуре = 30°С.

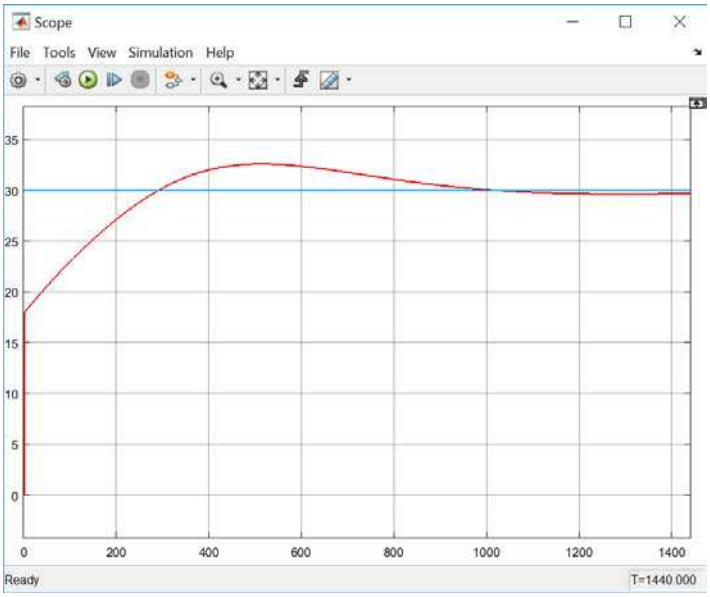


Рисунок 3.7 – Результат регулирования по температуре

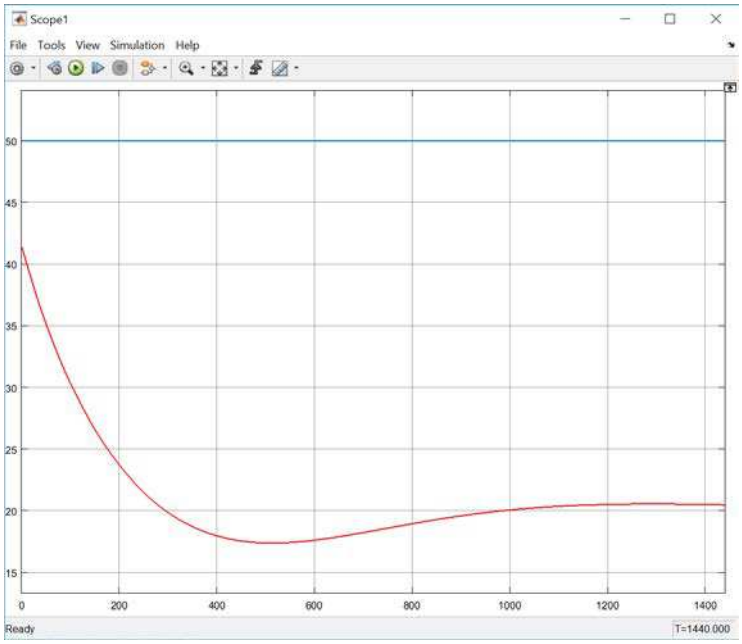


Рисунок 3.8 – Результат пересчета влажности

Данные:

Температура наружного воздуха = 25°С;

Относительная влажность = 50°С;

Уставка по температуре = 30°С.

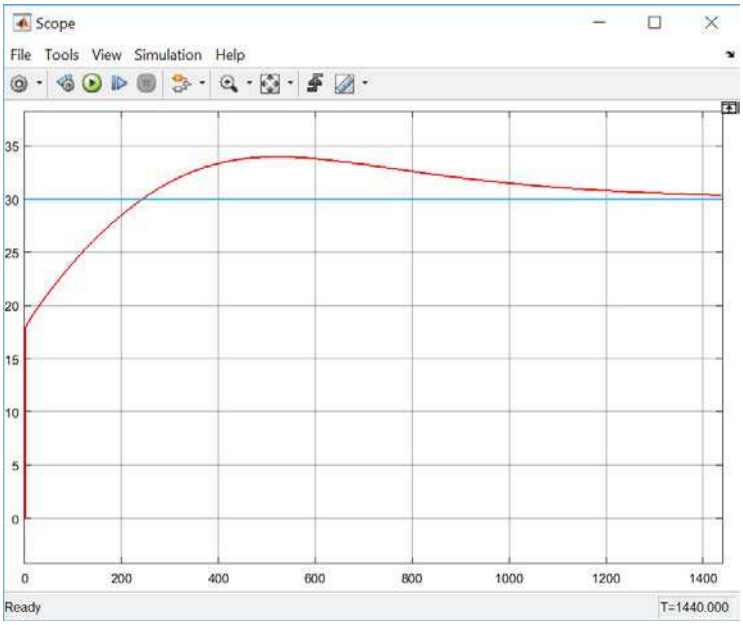


Рисунок 3.9 – Результат регулирования по температуре

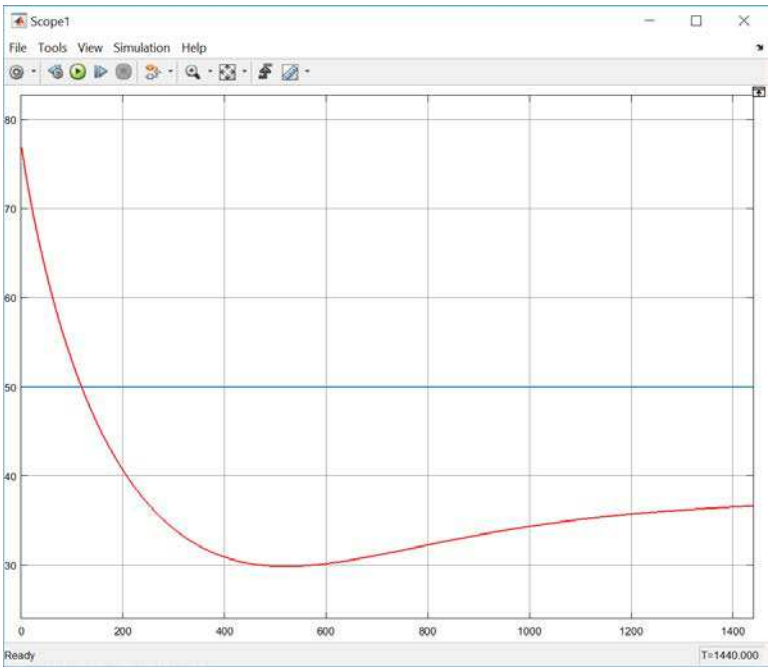


Рисунок 3.10 – Результат пересчета влажности

Данные:

Температура наружного воздуха = -15°С;

Относительная влажность = 50°С;

Уставка по температуре = 30°С.

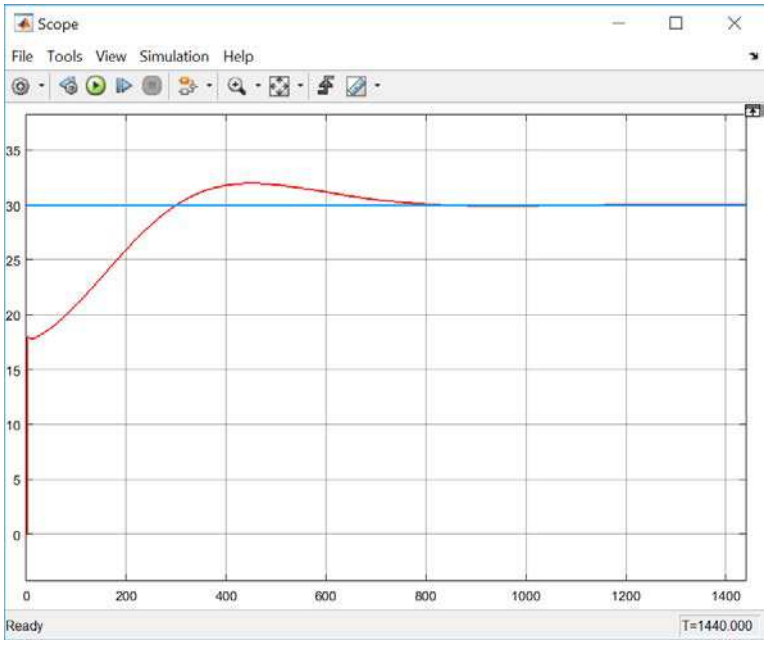


Рисунок 3.11 – Результат регулирования по температуре

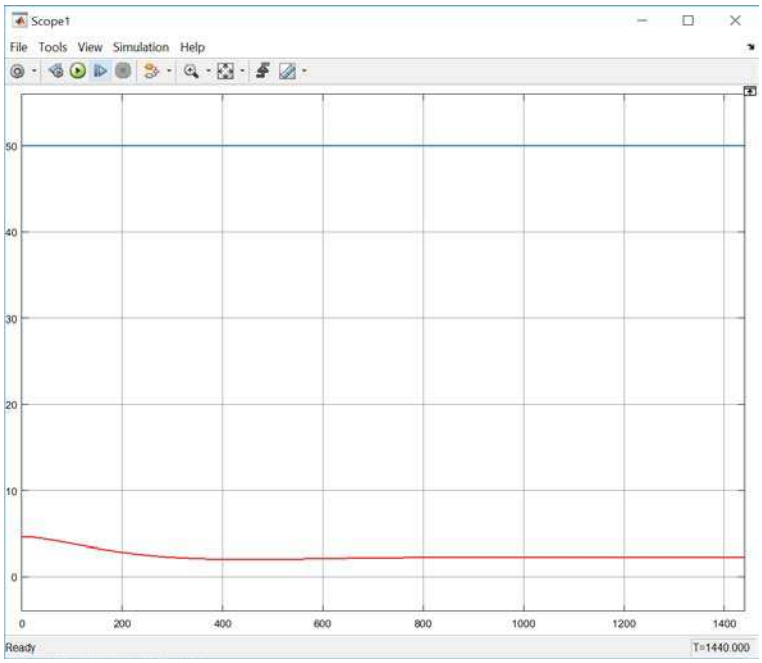


Рисунок 3.12 – Результат пересчета влажности

4 Разработка системы управления

4.1 Изменение функциональной схемы (выбор датчиков)

В рамках дипломного проекта были добавлены 4 датчика температуры и влажности в обслуживаемое помещение для отслеживания текущей температуры. Для такой задачи подошли настенные датчики температуры RTF1 PT1000 и влажности RFF. В связи с этим были внесены изменения в функциональную схему (рисунок 4.1) [9].

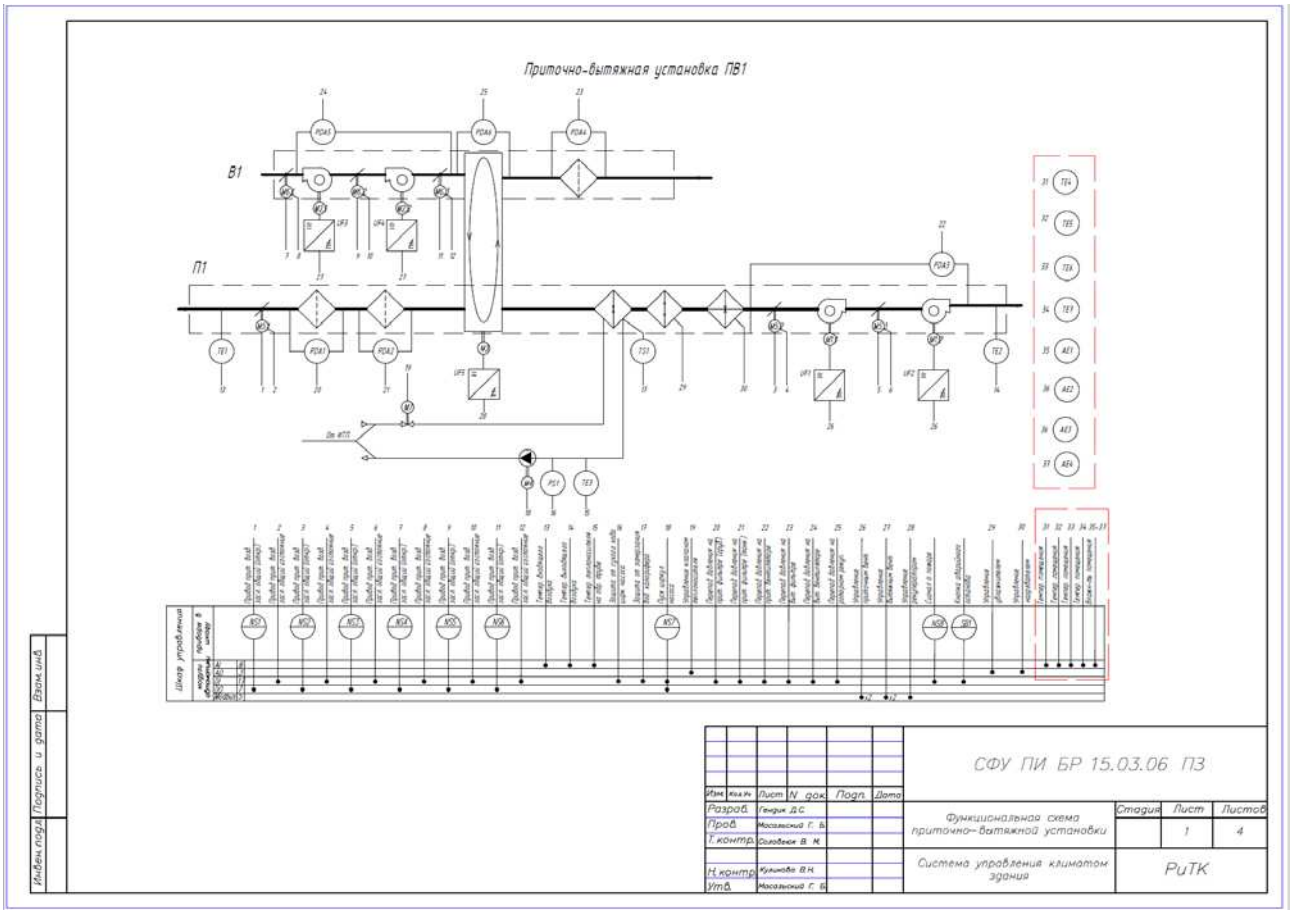


Рисунок 4.1 – Измененная функциональная схема

Данные датчики снимают показания температуры, влажности с установленной периодичностью, после общее значение усредняется и принимается, как температура и влажность помещения.

4.2 Изменение принципиальной схемы

В связи с изменениями функциональной схемы требуется доработать принципиальную схему.

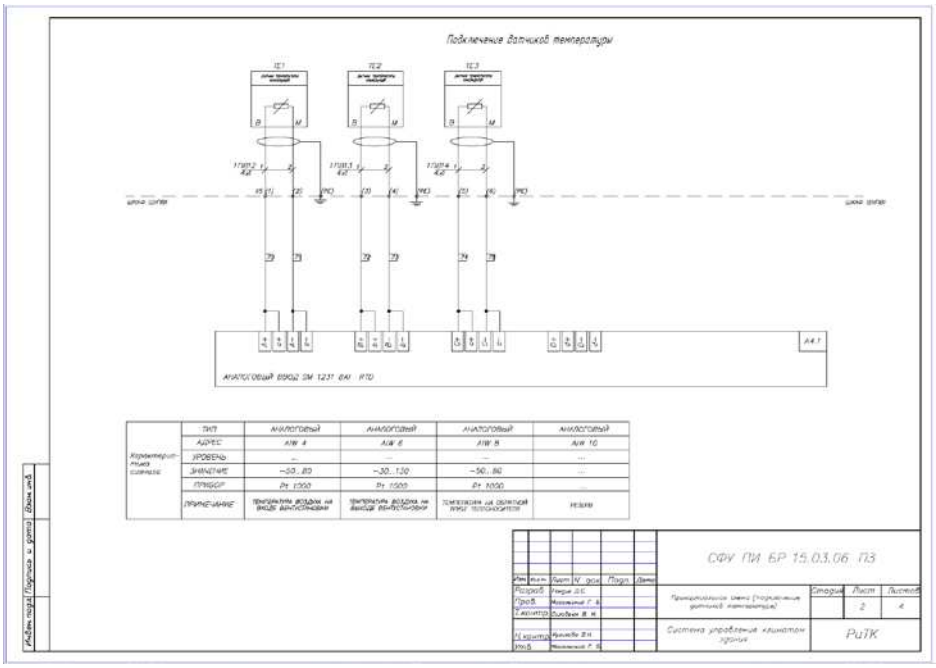


Рисунок 4.2 – Измененная принципиальная схема

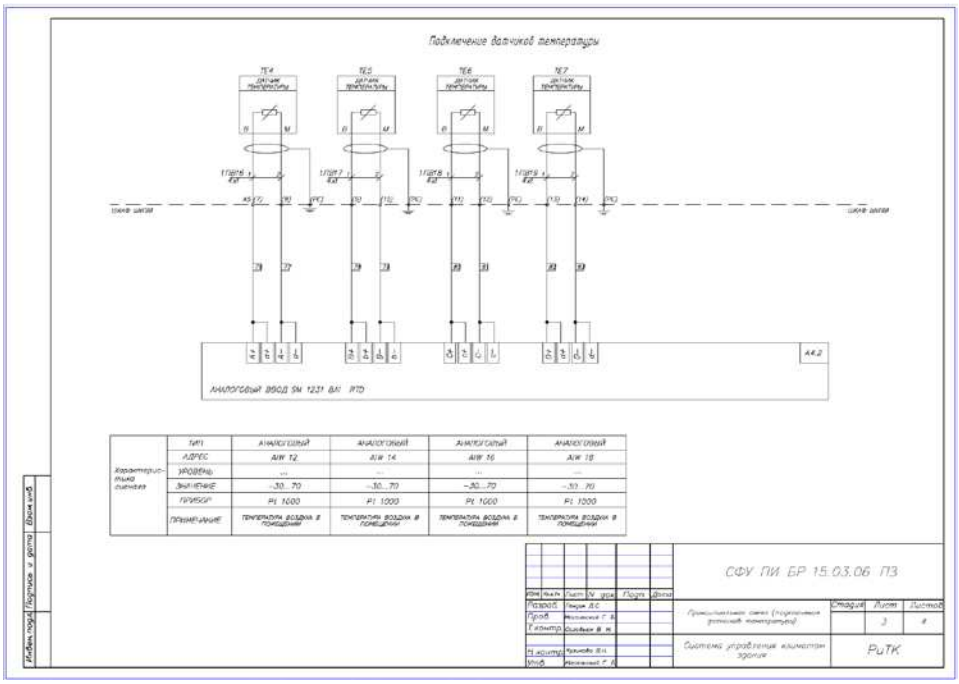


Рисунок 4.3 – Измененная принципиальная схема

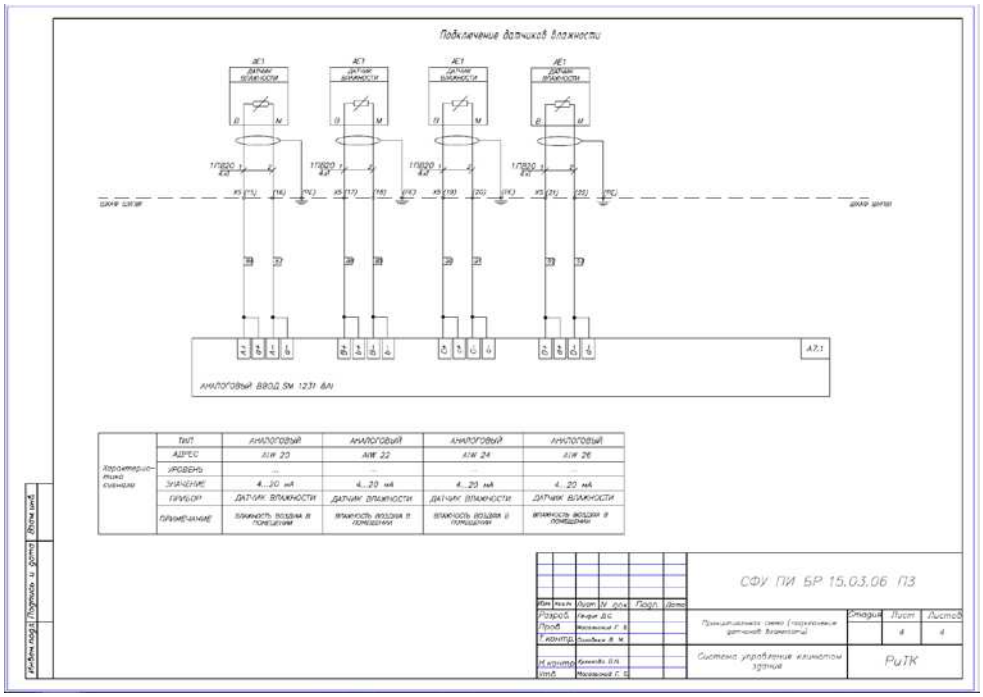


Рисунок 4.4 – Измененная принципиальная схема

Из-за увеличения количества датчиков было необходимо заменить модуль аналогово ввода с четырех канального на восьми канальный, для этого подошел модуль SM 1231 RTD 8 X AI RTD.

4.3 Спецификация нового оборудования

Датчик температуры RTF1 PT1000:

Рисунок 4.5 – Датчик температуры RTF1 PT1000 S+S Regeltechnik.

Таблица 4.1 – Технические характеристики датчика температуры

Диапазон измерения	–30...+70 °C;
Размеры	85 x 85 x 27 мм;
Допустимая относительная влажность воздуха	макс. 90 %, без конденсата;
Класс защиты	III (согласно EN 60 730);
Степень защиты	IP 30 (согласно EN 60 529).

Датчик влажности RFF:

Рисунок 4.6 – Датчик влажности RFF от S+S Regeltechnik

Таблица 4.2 – Технические характеристики датчика влажности

Диапазон измерения	0…100 % отн. вл.
Размеры	85 x 85 x 27 мм;
Напряжение питания:	24 В перем. тока (±20 %) и 15...36 В пост. тока (±10 %) для варианта U 15...36 В пост. тока (±10 %) для варианта I

Продолжение таблицы 4.2

Чувствительный элемент:	0-10 В или 4...20 мА
Степень защиты	IP 30

Модуль аналогового ввода SM 1231 RTD 8 X AI RTD:

Рисунок 4.7 – Модуль аналогового ввода SM 1231 RTD 8 X AI RTD SIEMENS.

Таблица 4.3 – Технические характеристики модуля аналогово ввода

Напряжение питания	Номинальное значение (пост. ток) 24 В пост. тока
Входной ток	Потребление тока, тип. 40 mA Из шины на задней стойке 5 В пост. тока, тип. 80 mA
Рассеиваемая мощность	1.5 W
Аналоговые вводы	Число аналоговых входов 8

Продолжение таблицы 4.3

Степень защиты и класс защиты	Степень защиты согласно EN 60529 IP20
Температура окружающей среды при эксплуатации	-20°С…+60°С

4.4 Алгоритм контроля

Для управления системой были разработаны схемы алгоритмов включения, выключения и контроля параметров помещения.

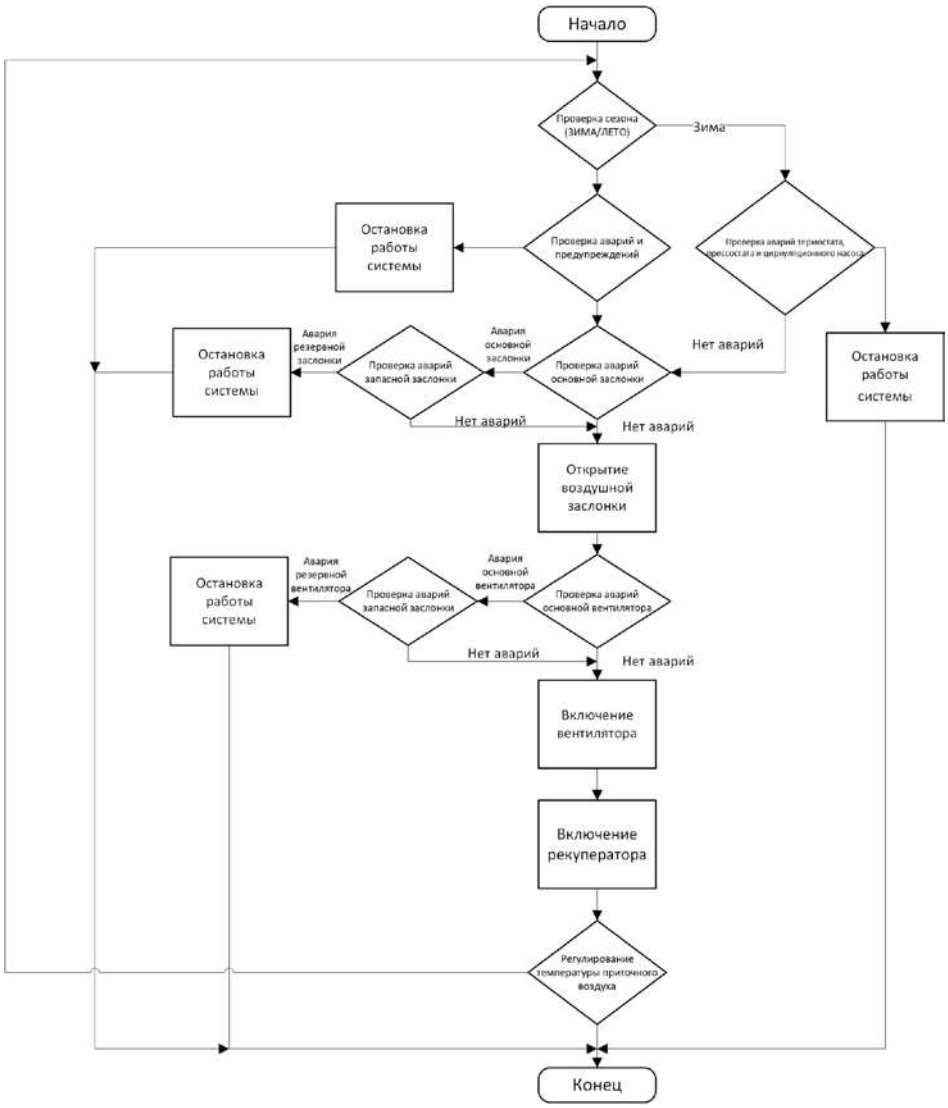


Рисунок 4.8 – Схема алгоритма включения установки

Рисунок 4.9 – Схема алгоритма выключения установки

Рисунок 4.10 – Схема алгоритма контроля параметров помещения

5 Безопасность и экологичность проекта

5.1 Монтаж кабелей

Монтажные провода по площади сечения должны соответствовать току нагрузки и допускаемому падению напряжения, обладать необходимой механической и электрической прочностью. Предпочтительно применять провода с изоляцией, стойкой к воздействию клеев, влагозащитных лаков и растворителей, а также к влиянию внешних воздействующих факторов. Не допускается применять монтажные провода с поврежденной изоляцией, надрезами жилы провода и другими дефектами, снижающими их механическую и электрическую прочность. Не допускается деформация и повреждение изоляции проводов в момент захвата инструментом, наличие заусенцев на токопроводящих жилах. Неизолированные провода, применяемые при монтаже, должны иметь антикоррозионное покрытие. Минимальный радиус изгиба проводов должен быть не менее значения, указанного в ТУ на них. При отсутствии таких указаний радиус изгиба должен быть не менее двукратной величины наружного диаметра [5].

Монтажные провода, жгуты и кабели должны быть прикреплены к элементам конструкции и не должны располагаться на острых кромках и ребрах шасси, узлов и аппаратуры. В случае, если это выполнить невозможно, допускается прокладка проводов, жгутов и кабелей на ребрах и кромках шасси при условии обеспечения мер, предохраняющих провода, жгуты и кабели от повреждений (обмотка лентами, применение изоляционных прокладок, трубок). Монтажные провода, плоские кабели в местах соединения перед пайкой должны быть механически закреплены.

Если в гибком кабеле имеются экранированные провода, то все экраны должны быть спаяны между собой и заведены на контакт "земля", если иное не оговорено в КД. При снятии изоляции с ленточных проводов с многопроволочными жилами скрутку проволок необходимо сохранить.

5.2 Работа с электроинструментом

Электроинструмент, ручные электрические машины, переносные трансформаторы и ручные электрические светильники должны быть безопасными в работе, не иметь доступных для случайного прикосновения токоведущих частей, не иметь повреждений корпусов и изоляции питающих проводов [6].

Применение электроинструмента допускается только по назначению в соответствии с требованиями, указанными в паспорте завода-изготовителя.

Корпус электроинструмента класса I, работающего при напряжении выше 42В (независимо от частоты тока), должен быть заземлен.

Заземление корпуса электроинструмента должно осуществляться с помощью жилы питающего провода, которая недолжна одновременно служить проводником рабочего тока. Использовать для этой цели нулевой заземленный рабочий провод запрещается. В связи с этим для питания трехфазного электроинструмента должен быть оснащен на конце вилкой, имеющей соответствующее число рабочих контактов и один заземляющий.

При проведении работ в помещении с повышенной опасностью применяются ручные электрические светильники напряжением не выше 42В.

При работах в особо неблагоприятных условиях должны использоваться ручные светильники напряжением не выше 12 В.

Перед началом работ с электроинструментом и ручными электрическими светильниками необходимо произвести:

- проверку комплектности и надежности крепления деталей;
- проверку внешним осмотром исправности кабеля (шнура), его защитной трубки и штепсельной вилки;
- проверку целости изоляционных деталей корпуса, рукоятки и крышек щеткодержателей;
- проверку наличия защитных кожухов и их исправности;
- проверку четкости работы выключателя.

5.3 Работа с отрезными станками

Работник обязан соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, трудовую дисциплину, выполнять задания и распоряжения руководителя работ или заведующего мастерскими. Работник должен быть в головном уборе и в спецодежде, застегнутой так, чтобы не было свободно развевающихся концов. Работник обязан [6]:

- подготовить рабочее место к работе, согласно требованиям технологического процесса;
- проверить заземление станка;
- проверить исправность и наличие защитных, предохранительных приспособлений на всех станках, индивидуальных средств защиты, предусмотренных технологией, не приступать к работе при их отсутствии или не исправности;
- проверить исправность инструмента, их установку и надежность крепления (сверл, кругов, пил, ножей, фрез и т.п.);
- перед пуском станка обязательно проверить вал с режущим инструментом, вращая его вручную;
- подготовить рабочую зону, убрать посторонние предметы и не используемый инструмент.

Работа должна выполняться в соответствии с установленной технологией, при этом необходимо соблюдать следующие требования:

- обрабатываемый материал должен двигаться справа на лева по отношению к работающему;
- не производить проверку точности обработки деталей на станках в рабочей зоне до полной остановки станка (режущего инструмента и механизма подачи);
- во время работы должна быть включена вытяжная вентиляция;
- во время работы запрещается разговаривать;
- свет от лампочки не должен попадать в глаза и ослеплять работающего.

Если требуется временно отлучиться с рабочего места, необходимо

выключить станок и убедиться в полной остановке всех механизмов.

5.4 Охрана труда при оперативном обслуживании и осмотрах электроустановок

Оперативные переключения должны выполнять работники, осуществляющие оперативное управление и обслуживание электроустановок (осмотр, оперативные переключения, подготовку рабочего места, допуск и надзор за работающими, выполнение работ в порядке текущей эксплуатации) (далее - оперативный персонал), или работники, специально обученные и подготовленные для оперативного обслуживания в утвержденном объеме закрепленных за ним электроустановок (далее - оперативно-ремонтный персонал), допущенные к работам ОРД организации или обособленного подразделения [].

В электроустановках напряжением выше 1000 В работники из числа оперативного персонала, единолично обслуживающие электроустановки, и старшие по смене должны иметь группу по электробезопасности (далее - группа) IV, остальные работники в смене - группу III.

В электроустановках напряжением до 1000 В работники из числа оперативного персонала, единолично обслуживающие электроустановки, должны иметь группу III. Вид оперативного обслуживания электроустановок, а также число работников из числа оперативного персонала в смене устанавливается ОРД организации или обособленного подразделения. При оперативном обслуживании, осмотрах электроустановок, а также выполнении работ в электроустановках не допускается приближение людей, гидравлических подъемников, телескопических вышек, экскаваторов, тракторов, автопогрузчиков, бурильно-крановых машин, выдвижных лестниц с механическим приводом (далее - механизмы) и технических устройств цикличного действия для подъема и перемещения груза (далее - грузоподъемных машин) к находящимся под напряжением неогражденным токоведущим частям на расстояния менее регламентируемых.

Единоличный осмотр электроустановки, электротехнической части технологического оборудования имеет право выполнять работник из числа оперативного персонала, имеющий группу не ниже III, обслуживающий данную электроустановку в рабочее время или находящийся на дежурстве, либо работник из числа административно-технического персонала (руководители и специалисты, на которых возложены обязанности по организации технического и оперативного обслуживания, проведения
ремонтных, монтажных и наладочных работ в электроустановках (далее - административно-технический персонал), имеющий группу V - для электроустановок напряжением выше 1000 В, и работник, имеющий
группу IV - для электроустановок напряжением до 1000 В. Право единоличного осмотра предоставляется на основании ОРД организации (обособленного подразделения).

Допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением

Напряжение электроустановок, кВ		Расстояние от работников и применяемых ими инструментов и приспособлений, от временных ограждений, м	Расстояния от механизмов и грузоподъемных машин в рабочем и транспортном положении от стропов, грузозахватных приспособлений и грузов, м
До 1	ВЛ	0,6	1,0
	В остальных электроустановках	не нормируется (без прикосновения)	1,0
1 - 35		0,6	1,0
60*, 110		1,0	1,5
150		1,5	2,0
220		2,0	2,5
330		2,5	3,5
400*, 500		3,5	4,5
750		5,0	6,0
1150		8,0	10,0

Рисунок 5.1 – Допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением

5.5 Обеспечение благоприятных микроклиматических условий

Категория работ относится к *I – ой* (подгруппа *б*), так как работы производятся сидя, стоя или связанны с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением

Основными параметрами микроклимата являются температура, скорость

движения воздуха, относительная влажность воздуха. Перечисленные параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность оператора, его самочувствие и здоровье, а также на надежность работы оборудования рабочего места оператора.

Наиболее важное влияние оказывают тепловыделения:

- персональный компьютер (до 200 ккал/час на 1 м^2 площади);
- люминесцентные лампы (0.03 ккал/час на 1 м^2 площади на каждый люкс освещенности);
- обслуживающий персонал (до 130 ккал/час на чел.);
- теплота, поступающая через окна от солнечной радиации;
- приток теплоты через непрозрачные ограждающие конструкции (60-180 ккал/м^2).

Согласно нормам производственного микроклимата (ГОСТ 12.1.005-88) воздух в рабочем помещении должен соответствовать следующим требованиям, приведенным в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Требования к воздуху в рабочем помещении

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Температура воздуха в помещении Относительная влажность Скорость движения воздуха	22…24°С 40…60% до 0,1м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении Относительная влажность Скорость движения воздуха	23…25°С 40…60% 0,1…0,2м/с

6 Экономическое обоснование проекта

6.1 Стоимость оборудования

Рассчитаем общую стоимость оборудования, для этого рассчитаем стоимость установки и шкафа управления.

Таблица 6.1 – Стоимость установки

Наименование, кол-во	Стоимость, руб.
Частотный преобразователь 4 кВт, 1 шт	27000
Частотный преобразователь 0.4 кВт, 1 шт	10000
Датчик температуры канальный Pt1000, 2шт	4000
Датчик температуры накладной Pt1000, 2шт	4000
Датчик дифференциального давления 50-500 Па, 4 шт	14000
Датчик дифференциального давления 200-2000 Па, 2шт.	7000
Термостат водяного калорифера 6 м , 1 шт	5500
Привод воздушной заслонки, 6 шт	78000
Датчик температуры воздуха RTF1, 4 шт	8000
Датчик влажности RFF	13000
Водяной нагреватель, 1шт	26000
Нагреватель, 1 шт	120000
Приточная установка, 1шт	571590
Вытяжная установка, 1 шт	491290
Увлажнитель, 1 шт	65000
ИТОГО:	1444380

Таблица 6.2 – Стоимость шкафа управления

Наименование	Код	Изготовитель	Ед. измерения	Количество	Цена, евро	Цена, руб	Цена с НДС, руб	Стоимость с НДС, руб	Примечание
Шкаф компактный распределительный 800x600x250, IP65	R5ST0869	DKC	шт	1			6 156,05 ₽	7 079,46р.	
Автомат. выключатель, 3-пол., хар-ка С, 32А подключение под винт	5SL6332-7	Siemens	шт	1			1 373,73р.	1 579,79р.	
Автомат. выключатель, 3-пол., хар-ка С, 10А подключение под винт	5SL6310-7	Siemens	шт	4			1 210,18р.	5 566,83р.	
Автомат. выключатель, 1-пол., хар-ка С, 10А подключение под винт	5SL6110-7	Siemens	шт	1			286,22р.	329,15р.	
Автомат. выключатель, 1-пол., хар-ка С, 2А подключение под винт	5SL6102-7	Siemens	шт	1			366,18р.	421,11р.	
Автомат. выключатель, 1-пол., хар-ка С, 1А подключение под винт	5SL6101-7	Siemens	шт	8			366,18р.	3 368,86р.	
Автомат. выключатель, 1-пол., хар-ка С, 6А подключение под винт	5SL6106-7	Siemens	шт	2			346,65р.	797,30р.	
Доп. контакт к автомат. выключателям серии 5SL, 5SY, 5SP, подключение под винт 1НО+1Н3 контакт.	5ST3010	Siemens	шт	1			901,38р.	1 036,59р.	
SIMATIC S7-1200, КОМПАКТНОЕ ЦПУ CPU 1214C DC/DC/DC	6ES7214-1AG40-0XB0	Siemens	шт	1			28 530,39р.	32 809,95р.	
SIMATIC S7-1200, КОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМНАЯ ПЛАТА СВ 1241, RS485	6ES7241-1CH30-1XB0	Siemens	шт	1			6 240,04р.	7 176,05р.	
SIMATIC S7-1200, МОДУЛЬ АНАЛОГОВОГО ВВОДА SM 1231RTD, 8-ВХОДОВЫЙ	6ES7231-5PF32-0XB0	Siemens	шт	1			23 649,74р.	27 197,20р.	
SIMATIC S7-1200, МОДУЛЬ АНАЛОГОВОГО ВЫВОДА SM 1232, 2 AO, +/-10В 14 БИТ	6ES7232-4HB32-0XB0	Siemens	шт	1			17 912,86р.	20 599,79р.	
Панель SIMATIC HMI KTP700 BASIC 7 TFT дисплей	6AV2123-2GB03-0AX0	Siemens	шт	1			50 449,02р.	58 016,37р.	
Промышленный коммутатор - FL SWITCH SFNB 5TX	2891001	Phoenix Contact	шт	1	€ 66,92	4 856,38 ₽	5 730,53р.	6 590,11р.	
Компактный релейный модуль 230 V AC	2966207	Phoenix Contact	шт	1	€ 13,79	1 000,74 ₽	1 180,87р.	1 358,00р.	
Компактное втычное согласующее реле 24 V DC, 2п контакта	LZS:RT4A4L24	Siemens	шт	4			713,09р.	3 280,21р.	
LOGO!Power 24V Стабилизированный блок питания вход: 100-240 В AC, выход: 24 В/2,5 А DC	6EP3332-6SB00-0AY0	Siemens	шт	1			4 335,91р.	4 986,30р.	
Трансформатор для продолжительной нагрузки 220В 50Гц / 12+12В, 25ВА	TS 25/12-24 C	ABB	шт	1			1 492,22р.	1 716,05р.	
Кнопка грибовидная, аварийного останова, 1Н3+1НО	XB7ES545P	Schneider Electric	шт	1			363,77р.	418,34р.	
Клемма проходная с винтовым подсоединением для предохранителя 0.14 - 4 мм2	8WH2000-1JG38	Siemens	шт	3			892,45 ₽	3 078,95р.	
Плавкая вставка 5x20мм, безинерционная 1.5А			шт	1			10,00р.	11,50р.	
Плавкая вставка 5x20мм, безинерционная 1.0А			шт	1			10,00р.	11,50р.	
Плавкая вставка 5x20мм, безинерционная 0.5А			шт	1			10,00р.	11,50р.	
Клемма проходная, серая, с пружинным подсоединением. 0.08-10мм²	3031487	Phoenix Contact	шт	3	€ 0,70	50,80 ₽	59,94р.	206,80р.	
Клемма проходная, синяя, с пружинным подсоединением. 0.08-10мм²	3031490	Phoenix Contact	шт	1	€ 0,70	50,80 ₽	59,94р.	68,93р.	
Заземляющий клеммный модуль, желто-зеленый, с пружинным подсоединением. 0.08-10мм²	3031500	Phoenix Contact	шт	1	€ 1,75	127,00 ₽	149,86р.	172,34р.	
Концевая крышка D-ST 6	3030433	Phoenix Contact	шт	1	€ 0,22	15,97 ₽	18,84р.	21,67р.	
Клемма проходная, серая, с пружинным подсоединением. 0.08-2,5мм²	3031212	Phoenix Contact	шт	25	€ 0,30	21,77 ₽	25,69р.	738,58р.	
Клемма проходная, синяя, с пружинным подсоединением. 0.08-2,5мм²	3031225	Phoenix Contact	шт	1	€ 0,30	21,77 ₽	25,69р.	29,54р.	
Заземляющий клеммный модуль, желто-зеленый, с пружинным подсоединением. 0.08-2,5мм²	3031238	Phoenix Contact	шт	4	€ 1,03	74,75 ₽	88,20р.	405,73р.	
Концевая крышка D-ST 2,5	3030417	Phoenix Contact	шт	6	€ 0,22	15,97 ₽	18,84р.	129,99р.	
Концевой стопор - CLIPFIX 35	3022218	Phoenix Contact	шт	8	€ 0,42	30,61 ₽	36,12р.	332,30р.	
Маркировочные таблички, плоские для клемм шириной 5,2 мм, без надписей	1050004	Phoenix Contact	шт	1	€ 0,28	20,32 ₽	23,98р.	27,57р.	
Розетка одноместная с заземлением, 16А	MRD10-16	IEK	шт	1			127,84 ₽	147,02р.	
Провод монтажный черный 0,75 мм2	4510012	Lapp Kabel	м	50			13,00 ₽	747,50р.	
Провод монтажный черный 1,5 мм2	4520011	Lapp Kabel	м	30			18,90 ₽	652,05р.	
Провод монтажный чёрный 2,5 мм2		Lapp Kabel	м	20			30,73 ₽	706,79р.	
Провод монтажный жёлто-зелёный 0,75 мм2	4510002	Lapp Kabel	м	5			13,00 ₽	74,75р.	
Провод монтажный жёлто-зелёный 1,5 мм2	4520001	Lapp Kabel	м	5			18,90 ₽	108,68р.	
Провод монтажный жёлто-зелёный 2,5 мм2		Lapp Kabel	м	5			30,73 ₽	176,70р.	
Наконечники-гильзы с изолир.фланцем, 0,75 мм2, серый	2ART503	DKC	шт	100			1,20 ₽	137,60р.	
Наконечники-гильзы с изолир.фланцем, 1,5 мм2, серый	2ART505	DKC	шт	50			1,20 ₽	68,80р.	
Наконечники-гильзы с изолир.фланцем, 2,5 мм2, серый	2ART506	DKC	шт	50			3,37 ₽	193,61р.	
Двойные наконечники гильзы с изолир.фланцем, 2x0,75 мм2, серый	2ART5032	DKC	шт	50			2,59 ₽	149,07р.	
Двойные наконечники гильзы с изолир.фланцем, 2x1,5 мм2, серый	2ART5052	DKC	шт	20			2,59 ₽	59,63р.	
Двойные наконечники гильзы с изолир.фланцем, 2x2,5 мм2, серый	2ART5062	DKC	шт	20			9,93 ₽	228,28р.	
DIN - рейка OMEGA 3AF (35x15x1.5)	02150	DKC	м	4			154,49р.	710,65р.	
Короб перфорированный 40x60 серый	01107RL	DKC	м	8			149,90р.	1 379,08р.	
Жгут для кабеля, Spiralite P3 Д.8*10.	00963	DKC	м	2			22,01р.	50,63р.	
Светильник с люминесцентной лампой, 6 Вт	LLPO02001106K01	IEK	шт	1			287,38р.	330,49р.	
Шина нулевая на DIN-рейку в корпусе 2x7 групп	YND10-2-07-100	IEK	шт	1			281,68р.	323,93р.	
Кабельный зажим с контрогайкой IP 68 PG 16	YSA20-14-16-54-K41	IEK	шт	5			15,71р.	90,33р.	
Кабельный зажим с контрогайкой IP 68 PG 13,5	YSA20-12-13-54-K41	IEK	шт	18			12,85р.	266,00р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "0"	AZO200BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "1"	AZO201BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "2"	AZO202BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "3"	AZO203BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "4"	AZO204BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "5"	AZO205BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "6"	AZO206BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "7"	AZO207BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "8"	AZO208BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "9"	AZO209BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "L"	AZO2LLBY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "G"	AZO2GGBY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "N"	AZO2NNBY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
Колечки маркировочные из ПВХ, диаметр 1,3-2,5 мм символ "+"	AZO210BY	DKC	шт	50			1,37р.	78,50р.	
SIMATIC S7-1200, МОДУЛЬ АНАЛОГОВОГО ВВОДА, SM 1231, 8 AI	6ES7231-4HF32-0XB0	Siemens	шт	1			26 436,04 ₽	26 436,04 ₽	
							Итого	223 711,00р.	

Для получения общей стоимости оборудования сложим стоимость установки и шкафа управления.

$$C_{общ} = 1444380 + 223711 = 1668091 \text{ руб.} \quad (6.1)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы достигнуты поставленные цели: приобретены практические навыки и компетенции самостоятельной работы в проектно-конструкторской и организационно-управленческой деятельностях; получен опыт в проектировании системы управления климатом здания; разработана система климат контроля.

В первой главе выпускной квалификационной работы описан объект управления и рассчитана постоянная времени.

Во второй главе разработана математическая модель.

В третьей главе разработана адаптивная система управления с помощью внедрения идентификации и адаптивного регулятора на нейросети.

В четвертой главе внесены изменения в функциональную и принципиальную схемы, а так же подобраны датчики контроля температуры и влажности помещения.

В пятой главе рассмотрена безопасность и экологичность проекта.

В шестой главе рассчитана экономическая составляющая проекта.

По полученным результатам можно сделать вывод, что система климат контроля решает все поставленные задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Общие требования безопасности. Введ. впервые; дата введ. 1989-01-01. - М.: Стандартинформ, 1989.-21 с.
2. Ханнанова В. Н. «Математическая модель системы регулирования температуры внутри помещения» 2013. -313 с.
3. Масальский Г. Б. Математические основы кибернетики: учебное пособие в 2-х частях. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – 491 с.
4. Hadi Razmi, Atabak Mashhadi Kashtiban «Nonlinear PID-based analog neural network control for a two link rigid robot manipulator and determining the maximum load carrying capacity» 2012. -234 с.
5. ГОСТ 23592-96 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Монтаж электрический радиоэлектронной аппаратуры и приборов ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБЪЕМНОМУ МОНТАЖУ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ;
6. *Инструкция* по охране труда при работе на сверлильных, расточных и отрезных станках ИОТ-020-2013;
7. Дипломный проект Зеленов Д. М. «Проектирование системы управления приточно-вытяжной вентиляцией Богучанской ГЭС».
8. ИНТРУКЦИЯ по охране труда при работе с электроинструментом №28032014;
9. Датчики, противопожарные системы[Электронный ресурс] – Режим доступа: http://sensormatica.ru;
10. МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ И ПРИБОРОВ ГОСТ 23594-79;
11. Техэксперт ГОСТы[Электронный ресурс] – Режим доступа: http://cntd.ru;

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
РиТК
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Б. Масальский
подпись
«13» 06 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

15.03.06. Мехатроника и робототехника

Система управления климатом здания

Руководитель _____ зав.каф. КТН Г.Б. Масальский
подпись, дата должность, ученая степень

Студент _____ - 13.06.18 г. Д.С. Гендик
подпись, дата

Нормоконтролер _____ 13.06.18 г. В.Н. Куликова
подпись, дата

Красноярск 2018